



**HAL**  
open science

## **La recherche à l'IGN : activités 1993**

Serge Motet, Sylvain Airault, Christian Thom, Isabelle Jurvillier, Sylvia Philippe, Patrick Gigord, François Lecordix, Corinne Plazanet, Guylaine Schorter, Laurent Raynal, et al.

### ► **To cite this version:**

Serge Motet, Sylvain Airault, Christian Thom, Isabelle Jurvillier, Sylvia Philippe, et al.. La recherche à l'IGN : activités 1993. Bulletin d'information de l'IGN N°62. 1994. hal-02372537

**HAL Id: hal-02372537**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02372537v1>**

Submitted on 20 Nov 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# BI

INSTITUT  
GEOGRAPHIQUE  
NATIONAL

ISSN 0427 221

**BULLETIN D'INFORMATION DE L'IGN**



*Bilan Recherche 93*



**62**



# La recherche à l'Institut Géographique National

---

***Activités 1993***

**En couverture : image prise par la caméra numérique.** L'image est issue de la première mission aérienne utilisant la caméra CCD développée à l'IGN. La mission couvre 12 par 24 km à l'ouest de Charleville-Mézières (Ardennes). Elle est formée de 45 images. C'est une étape importante dans la réalisation d'une filière complètement numérique de saisie d'information géographique.

# Table des matières

<b>A.</b>	<b>La recherche à l'IGN .....</b>	<b>7</b>
	A propos du bulletin n° 62 .....	7
	Structure de la recherche à l'IGN .....	7
	Priorités de recherche .....	8
	Points marquants de 1993.....	8
	Evolution des effectifs.....	9
	Déroulement des actions.....	9
<b>B.</b>	<b>Quelques actions marquantes .....</b>	<b>13</b>
<b>B.1.</b>	<b>Automatisation de la saisie du réseau routier sur images aériennes .....</b>	<b>15</b>
<b>B.2.</b>	<b>Mise en place relative automatique d'un couple stéréoscopique .....</b>	<b>21</b>
<b>B.3.</b>	<b>Réalisation d'un prototype de caméra aérienne numérique .....</b>	<b>27</b>
<b>B.4.</b>	<b>Exploitation cartographique d'images RADAR .....</b>	<b>31</b>
<b>B.5.</b>	<b>Placement automatique des écritures avec une qualité cartographique .....</b>	<b>39</b>
<b>B.6.</b>	<b>GéO<sub>2</sub> : module de superposition.....</b>	<b>41</b>
<b>B.7.</b>	<b>Le système DORIS : résultats récents de la mission océanographique TOPEX/POSEIDON .....</b>	<b>45</b>
<b>B.8.</b>	<b>Etude des déformations du sol par des méthodes géodésiques dans le Sud-Est asiatique.....</b>	<b>49</b>
<b>C.</b>	<b>Illustrations couleurs .....</b>	<b>53</b>
<b>C.1</b>	Mise en place relative automatique d'un couple stéréoscopique d'images aériennes .....	53
<b>C.2</b>	Lissage des courbes de niveau issues de corrélation automatique.....	54
<b>C.3</b>	Extraction du réseau routier .....	55
<b>C.4</b>	Restitution automatique des bâtiments .....	58
<b>C.5</b>	Placement automatique des numéros de routes.....	60
<b>C.6</b>	Placement automatique des écritures horizontales.....	61

C.7	Système expert pour la généralisation .....	62
C.8	Algorithme de filtrage et de lissage .....	62
C.9	Mosaïque issue d'une prise de vue par la caméra numérique CCD .....	64
<b>D.</b>	<b>Bilan des actions de recherche .....</b>	<b>67</b>
<b>D.1.</b>	<b>Image et photogrammétrie .....</b>	<b>67</b>
	<b>Photogrammétrie .....</b>	<b>68</b>
D.1.1	Mise en place relative automatique .....	68
D.1.2	Aérotriangulation.....	68
	<b>Restitution du relief.....</b>	<b>69</b>
D.1.3	Critères d'arrêt du corrélateur ponctuel.....	69
D.1.4	Elimination du sursol isolé.....	69
D.1.5	Calcul des courbes de niveau .....	70
D.1.6	Corrélateur par facette.....	71
D.1.7	Parallélisation de la corrélation automatique.....	72
	<b>Extraction du réseau routier.....</b>	<b>73</b>
D.1.8	Détection automatique d'amorces .....	73
D.1.9	Fiabilisation du suivi de route .....	73
D.1.10	Lissage des extractions .....	74
D.1.11	Les possibilités d'intégration dans un processus complet .....	75
D.1.12	Utilisation d'une base de données externes.....	75
	<b>Autres thèmes planimétriques .....</b>	<b>77</b>
D.1.13	Restitution des bâtiments .....	77
D.1.14	Analyse de textures sur photographies aériennes .....	77
D.1.15	Extraction du réseau hydrographique.....	78
	<b>Interprétation des cartes scannées .....</b>	<b>79</b>
D.1.16	Toponymie .....	79
D.1.17	Thèmes planimétriques .....	79
D.1.18	Interprétation conjointe de carte et d'image aérienne .....	80
	<b>Qualité des données.....</b>	<b>81</b>
D.1.19	Contrôle géométrique de la planimétrie d'une carte ou d'une base de données vectorielles .....	81
D.1.20	Qualité de l'occupation du sol .....	82
D.1.21	Qualité des MNT.....	83
D.1.22	Tests de restitution numérique.....	83
D.1.23	Etude préalable pour un nouveau logiciel de saisie photogramétrique de données TRAPU .....	85
<b>D.2.</b>	<b>Instrumentation .....</b>	<b>87</b>
D.2.1	Mise au point et exploitation des données d'une caméra à comptage de photons pour l'astronomie .....	87
D.2.2	Etude des possibilités métriques d'un capteur à balayage (prise de vue stéréoscopique avant-arrière) .....	87

D.2.3.	Réalisation d'une station LASER ultra-mobile.....	88
D.2.4.	Développement d'un procédé de télémétrie LASER aéroportée à champ large .....	89
<b>D.3.</b>	<b>SIG et cartographie .....</b>	<b>90</b>
D.3.1.	Modélisation et gestion de données géographiques.....	91
D.3.2.	Précision des données géographiques .....	91
D.3.3.	Algorithmes de généralisation .....	92
D.3.4.	Placement automatique des toponymes .....	93
D.3.5.	Approche à base de connaissances pour la généralisation.....	94
D.3.6.	Etude préalable du projet d'industrialisation de la fabrication de la carte au 1 : 25 000 à partir de la BDTopo.....	94
<b>D.4.</b>	<b>Géodésie .....</b>	<b>96</b>
D.4.1.	Maintenance du système de référence terrestre de l'IERS.....	96
D.4.2.	Détermination du géoïde .....	97
D.4.3.	Intégration du GPS (Global Positioning System) et des SNI (Systèmes de Navigation Inertiels).....	98
D.4.4.	Théorie dynamique du mouvement de la Terre dans le cadre Post-Newtonien .....	98
D.4.5.	Réalisation d'un logiciel de traitement VLBI astrométrique et géodésique .....	99
D.4.6.	Rattachement géodésique des marégraphes dans un système mondial .....	100
D.4.7.	Amélioration du positionnement DORIS.....	101
D.4.8.	Nivellement par GPS .....	102
D.4.9.	Spécifications du réseau scientifique de nivellement.....	102
D.4.10.	Calculs des campagnes GPS de haute précision pour les buts de métrologie, de géodésie et de géophysique .....	103
<b>E.</b>	<b>Publications .....</b>	<b>105</b>
	<b>Glossaire .....</b>	<b>109</b>





par Hervé LE MEN et Serge MOTET

## A propos du bulletin n° 62

Le bulletin dresse un bilan de la recherche menée à l'IGN en 1993. Il poursuit deux objectifs :

- informer un public aussi large que possible sur les domaines d'activité de l'IGN en matière de recherche,
- faire un compte-rendu succinct des progrès réalisés en 1993 pour informer les chercheurs qui travaillent sur des questions proches des axes de recherche de l'IGN et qui connaissent l'IGN.

Ces deux objectifs conduisent à proposer deux grandes parties :

- un aperçu des travaux effectués en 1993; ils comportent des articles courts sans rappel de la problématique et du contexte; il présente principalement les actions pluriannuelles; c'est la partie D du bulletin,
- une présentation détaillée de quelques actions particulières et nouvelles; c'est la partie B.

En ce qui concerne les articles courts, ils ont été écrits en tenant compte du bilan de recherche 1992 qui précise le contexte des actions pluriannuelles. Celui-ci a été publié dans le bulletin d'information de l'IGN n° 61.

Pour se procurer ce bulletin ou d'autres publications, le lecteur est invité à se reporter à la partie E.

## Structure de la recherche à l'IGN

L'orientation et l'évaluation de la recherche à l'IGN sont du ressort du *Conseil Scientifique et Technique* (CST) et de la *Direction Technique* (DT).

Le CST est constitué en majorité de représentants des Ministères intéressés par la recherche à l'IGN. L'expertise scientifique est assurée par quatre *groupes* de travail. Chaque groupe s'attache à une discipline particulière et comprend un représentant du CST, un membre de l'IGN et des scientifiques du domaine extérieurs à l'IGN.

La maîtrise d'ouvrage de la recherche est une attribution de la DT. Elle s'appuie sur le *Schéma Directeur de la Recherche* qui fixe les thèmes de recherche.

La recherche est mise en œuvre par les services de l'IGN. Le principal acteur est le *Service de la Recherche* (SR). *L'Ecole Nationale des Sciences Géographiques* (ENSG) et les services de production (en particulier IGN-Espace à Toulouse) ont en charge certaines actions.

La structure de recherche du SR est formée de quatre *laboratoires*. Chaque laboratoire travaille dans une discipline particulière. Un groupe du CST est associé à chaque laboratoire :

Groupe 1 : Image et photogrammétrie	⇒	Laboratoire MATIS
Groupe 2 : Instrumentation	⇒	Laboratoire LOEMI
Groupe 3 : SIG* et Cartographie	⇒	Laboratoire COGIT
Groupe 4 : Géodésie	⇒	Laboratoire LAREG

(\* SIG = Système d'Information Géographique)

Un programme de recherche est présenté chaque année au CST par la DT en fonction du schéma directeur et des propositions des chercheurs. Ce programme est organisé par groupes. Il est ensuite divisé en actions de recherche (AR). Chaque AR a un responsable, un budget et un suivi comptable.

## Priorités de recherche

Le Schéma Directeur de la Recherche est élaboré à partir des éléments de l'analyse stratégique. Les principales recherches sont donc liées à la constitution des bases de données (BDTopo principalement) et à l'exploitation de ces bases (gestion et sorties cartographiques). Quelques recherches sont menées sans objectifs de production, au titre de la notoriété de l'IGN.

### • Image et photogrammétrie

L'objectif principal à long terme est l'automatisation de la restitution photogrammétrique. Tous les aspects de la topographie sont abordés avec des outils variés :

- restitution du relief par corrélation automatique,
- détection du bâti,
- détection des portions de routes, prolongement des portions, suivi et structuration des graphes,
- détection des réseaux hydrographiques, détection des thalwegs sur MNT corrélié.

Les deux axes secondaires sont la qualité des données et la lecture automatique de cartes scannées.

### • Instrumentation

La principale action est la mise au point d'une caméra numérique aéroportée. La mise au point d'un tel appareil permettra de compléter la chaîne numérique de cartographie depuis l'acquisition jusqu'aux sorties papier. C'est aussi une condition quasi-indispensable à l'efficacité des méthodes d'assistance à la restitution.

### • SIG et Cartographie

#### SIG

L'orientation de recherche porte sur l'amélioration des systèmes actuels dans les domaines :

- de la gestion de la qualité
- de l'historique des données
- de la fusion de données de précision différentes.

#### Généralisation cartographique

C'est la dernière étape du passage au numérique. Le problème général est de réaliser des cartes à partir des bases de données. Les options étudiées sont l'approche algorithmique et l'approche système-expert pour la résolution des conflits.

### • Géodésie

Les thèmes de recherche sont :

- les systèmes de référence terrestre et la participation à l'établissement d'un système de référence mondial,
- les références verticales,
- l'apport de la géodésie à la géodynamique,
- les techniques de positionnement, en particulier DORIS.

## Points marquants de 1993

L'année 1993 a été celle de la consolidation des structures et du fonctionnement de la recherche. L'effectif du service de la recherche s'est accru de 10%.

Globalement, les objectifs fixés par le CST ont été atteints. On note cependant que la recherche fondamentale n'a pas atteint le niveau souhaité par le Conseil et que la recherche appliquée a profité de ce déficit.

Enfin, l'ouverture de la recherche de l'IGN vers l'extérieur de l'établissement s'est poursuivie par un accroissement des contrats, des partenariats industriels et des actions menées dans le cadre de projets européens.

### • Image et photogrammétrie

Un important travail a été mené sur l'extraction du réseau routier sur les photographies aériennes numérisées : détection de la présence de routes, recherche de routes à l'aide d'indices donnés par une base de données géographique, calcul précis de la position des routes.

D'autre part, une étude sur la lecture automatique des écritures sur des cartes scannées a débuté en collaboration avec le Ministère de la Défense.

### • Instrumentation

Une première phase de recherche sur un prototype de caméra aérienne numérique a abouti. Une prise de vue et une orthophoto ont été réalisées. L'évaluation de ses résultats permettra de préciser certaines spécifications pour une caméra de production.

### • SIG et cartographie

Le thème fondamental pour l'IGN de la rédaction automatique de cartes à partir de bases de données géographiques se déclinait en plusieurs projets de recherche : le projet de placement des toponymes horizontaux est entré dans une phase d'industrialisation; une réflexion sur la modélisation des formes géométriques et des relations spatiales a débuté, bénéficiant d'un regain d'intérêt au niveau international.

Pour les SIG, l'événement marquant a été le lancement du programme de recherche en SIG, co-financé par le CNRS et l'IGN. Dans ce cadre, l'IGN a collaboré avec une dizaine de laboratoires sur trois axes de recherche : la qualité, la gestion du temps et les multiples représentations de l'information géographique.

### • Géodésie

L'affinement de la mesure de la forme et des mouvements de la Terre s'est poursuivi : niveau moyen des mers, système de référence terrestre, paramètres de rotation de la Terre.

Pour projet DORIS, les recherches menées sur ce système français ont démontré qu'il est au niveau des meilleures techniques de géodésie spatiale.

## Evolution des effectifs

	Effectifs au 1/1/92	Arrivées (Départs)	Effectifs au 1/1/93	Arrivées (Départs)	Effectifs 1/1/94
Commandement	5		5	1 (2)	4
COGIT	6	3 (1)	8	4	12
MATIS	8	3 (1)	10	4	14
LOEMI	8	0 (2)	6	1	7
LAREG	12	2	14	0 (3)	11
<b>Total</b>	<b>39</b>	<b>8 (4)</b>	<b>43</b>	<b>10 (5)</b>	<b>48</b>

## Déroulement des actions

Le tableau suivant donne la liste des actions de recherche. Les coûts contiennent les charges directement affectables à chaque action et une partie de la contribution aux structures de l'IGN. Les coûts sont donc donnés dans le seul but d'être comparés entre eux.

	<b>Intitulé</b>	<b>Responsable</b>	<b>Début</b>	<b>Fin prévue</b>	<b>Coût (kF)</b>
	Recherche de critères d'exactitude pour position et forme d'objets restitués	Hottier	1/11/88	31/12/94	214
	Aide à la saisie photogrammétrique	Jamet	1/1/91	1/12/94	848
	Lecture automatique de cartes scannées	Le Men	1/1/91	1/9/94	44
	Qualité des MNT	Beauvillain	1/1/91	1/12/94	232
	Extraction du réseau hydrographique sur photographies aériennes	Julien	1/10/92	1/10/95	122
	Etude des textures sur photographies aériennes	Jamet	1/10/92	1/10/95	112
	Interprétation et restitution automatique du bâti sur photos aériennes	Jamet	1/10/91	1/12/94	112
	Amélioration du corrélateur Dauphin	Julien	1/1/92	1/12/94	337
	Extraction automatique de courbes de niveau sur MNT	Airault	1/1/93	1/12/94	209
	Extraction automatique du réseau routier sur photographies aériennes	Airault	1/1/93	1/12/94	551
	Extraction des réseaux sur images	Bernard	1/1/87	1/10/93	16
	Recalage géométrique d'un réseau routier sur images aériennes	Jamet	1/1/93	1/12/93	110
	Elimination du sursol isolé	Guiavarc'h	1/1/93	1/12/94	81
	Outils d'évaluation des MNT	Beauvillain	1/1/93	1/12/94	37
	Exactitude de la saisie en photogrammétrie	Hottier	1/10/89	1/12/93	114
	Fabrication de MNT avec le corrélateur DAUPHIN	Julien	1/1/93	1/6/94	259
	Validation sur le T10N d'outils d'améliorations de MNT	Dekeyne	1/1/93	1/12/93	40
	Saisie de travaux spéciaux de photogrammétrie sous micro-station	Dupuis	1/1/93	1/3/94	48
	Faisabilité des MNT dans la mission spatiale Mars 1994	Julien	1/3/93	1/10/93	32
	Parallélisation de la corrélation automatique	Julien	1/11/91	1/10/94	60
	<b>Total groupe 1</b>				<b>3 695</b>
	Prototype de caméra numérique	Thom	1/1/91	1/12/94	1291
	Mise au point d'une caméra à comptage de photons	Thom	1/1/92	1/12/94	24
	Simulation et évaluation du capteur HRG	Hottier	1/10/91	1/10/94	120
	Exploitation cartographique d'images RADAR	Gigord	1/8/91	1/12/97	245
	Station LASER ultra- mobile	Kasser	1/1/88	1/10/94	339
	Prototype d'instrument aéroporté de télémétrie LASER	Kasser	1/10/92	1/10/96	708
	Etude préalable levé en roulant	Kasser	1/10/92	1/6/94	50
	<b>Total groupe 2</b>				<b>2 778</b>
	Gestion de l'historique des informations géographiques	Motet	1/1/92	1/12/97	19
	Problèmes de résolution et de précision dans les SIG	David	1/1/92	1/12/96	150
	Programme National SIG	David	1/1/93	1/12/95	536
	Généralisation automatique. Approche IA	Lagrange	1/1/92	1/12/95	915
	Généralisation automatique : algorithmes	Affholder	1/1/92	1/12/95	1 210
	Prototype de SGBDOO localisées	David	1/1/92	1/12/94	775
	Contrôle qualité des BD - Etude préalable	David	1/9/93	1/5/94	78
	Etude préalable 1 : 25 000 BDTopo	Mercier	1/6/93	25/10/93	92
	<b>Total groupe 3</b>				<b>3 776</b>

Maintenance du système de référence terrestre de l'IERS	Altamimi	1/1/90	1/12/93	690
Participation au projet franco-américain TOPEX/POSÉIDON	Willis	1/1/90	1/12/93	228
Détermination du géoïde	Duquenne	1/1/89	1/12/93	277
Etude du couplage GPS inertiel	Willis	1/1/90	1/12/94	120
Théorie dynamique du mouvement de la rotation de la Terre	Priou	1/10/88	1/12/94	251
Réalisation d'un logiciel de traitement VLBI	Priou	1/1/89	1/12/95	71
Rattachement géodésique des marégraphes dans un système mondial	Willis	1/10/92	1/10/94	181
Amélioration du positionnement DORIS	Dufour	1/1/93	1/12/95	346
Nivellement par GPS	Duquenne	1/1/93	1/12/94	26
Déformations et tectonique en Asie du Sud-Est	Kasser	1/4/93	1/5/95	276
Spécifications du réseau scientifique de nivellement français	Duquenne	1/1/91	1/12/93	148
Soutien au BGI	Duquenne	1/1/91	1/12/93	673
Calculs de campagnes GPS haute précision géodésie géophysique	Willis	1/1/91	1/12/93	629
Etude préalable pour la mise en place d'un centre serveur GPS	Daniel	1/1/93	1/7/93	86
<b>Total groupe 4</b>				<b>4 002</b>
Total général		14 251		



## **B. Quelques actions marquantes**

*par Serge MOTET*

Certains sujets de recherche ont été plus spécifiquement détaillés dans ce bulletin car il s'agit soit d'actions nouvelles soit de recherches qui ont fait l'objet de développements particulièrement importants en 1993.

Le laboratoire MATIS présente les développements pour l'automatisation de la saisie du réseau routier sur images aériennes. Ce sujet est remarquable par la tentative d'intégration de procédures automatiques et manuelles.

L'autre sujet proposé par le MATIS est une étude photogrammétrique sur la mise en place relative d'un couple stéréoscopique.

Le laboratoire LOEMI fait le point sur la réalisation d'un prototype de caméra aérienne numérique. Le prototype a été construit à partir des composants disponibles mais pas toujours totalement adaptés à la prise de vue aérienne. Une prise de vue a cependant été réalisée et exploitée. Cette expérience confirme l'intérêt des caméras numériques adaptées à la prise de vue aérienne.

IGN-Espace expose les premiers résultats de l'exploitation cartographique des images RADAR en insistant sur la complémentarité avec des autres capteurs satellitaires.

Le laboratoire COGIT présente des résultats et des perspectives sur le placement automatique des écritures. Cette recherche devrait à moyen terme être appliquée dans la production de l'IGN.

L'autre article du COGIT traite d'un problème courant et mal maîtrisé dans les systèmes d'information géographique : l'analyse spatiale par superposition de thèmes.

Le laboratoire LAREG présente des résultats sur l'utilisation du système DORIS dans la mission océanographique Topex/Poseidon. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par les meilleurs techniques de géodésie spatiale.

Enfin, le laboratoire LOEMI expose les travaux effectués pour déterminer des déformations du sol par des méthodes géodésiques dans le Sud-Est asiatique.





## B.1. Automatisation de la saisie du réseau routier sur images aériennes

par Sylvain AIRAULT

### Introduction

#### Le contexte

L'IGN a entrepris, depuis quelques années, la constitution d'une Base de Données Topographique, de couverture nationale, reprenant tous les thèmes de la carte topographique traditionnelle au 1 : 25 000 avec une précision géométrique de l'ordre du mètre en x, y et z. Cette base est actuellement saisie par restitution photogrammétrique manuelle à partir de clichés aériens argentiques à l'échelle du 1 : 30 000. Dans l'état actuel des techniques, cette saisie photogrammétrique demande du temps et un investissement considérable, en opérateurs comme en matériel (deux à trois millions d'heures de restitution pour l'ensemble du pays). L'effort de recherche en interprétation automatique d'images aériennes soutenu par l'IGN répond au besoin d'accroître la productivité des chaînes de saisie photogrammétrique sans dégrader la qualité du produit final.

L'aide à la saisie du réseau routier est l'un de nos axes de recherche. Bien que le thème routier apparaisse comme l'un des plus faciles à interpréter automatiquement par rapport aux autres thèmes cartographiques (bâtiments, végétation, hydrographie), la saisie manuelle des routes est rapide, et l'on ne pourra espérer un gain de temps avec des outils automatiques que s'ils ont une très grande fiabilité.

#### Les contraintes

Ce contexte de recherche appliquée fixe un certain nombre de contraintes, à la fois sur les données de départ et sur la qualité des résultats attendus.

Afin de pouvoir insérer les nouvelles techniques dans la chaîne de saisie existante sans augmenter les coûts en amont, nous conservons les photographies au 1 : 30 000 panchromatiques comme données de départ. Une fois numérisées avec un pas de 20 microns, nos images ont une résolution-terrain de 60 cm.

L'application à la BDTopo nous oblige à la fois à reconnaître les routes dans l'image et à extraire une géométrie précise des axes de routes. Cela implique d'extraire précisément l'axe de route sur les images puis, pour pouvoir passer du repère des images vers le repère cartographique, de prendre en compte l'aspect stéréoscopique.

Une contrainte supplémentaire en cartographie est de rester fidèle à des spécifications de saisie qui réclament à la fois une bonne précision géométrique et une représentation "lisible" faisant apparaître un nombre limité de détails. En ce qui concerne la représentation du réseau routier au 1 : 25 000, ce problème de généralisation des formes paraît particulièrement sensible au niveau des carrefours, le reste du réseau ayant une représentation cartographique très proche du terrain.

#### Les objectifs

Nos recherches doivent conduire à la définition d'un processus complet de saisie du réseau routier sur image aérienne. Cela peut déboucher soit sur un outil entièrement automatique assorti d'une charge importante de contrôles et de reprises a posteriori, soit sur un outil semi-automatique avec un contrôle et des reprises en temps réel, conçu comme une aide à la saisie. L'utilisation industrielle des techniques d'extraction automatique sur images numériques pose en effet, en plus de l'aspect purement qualitatif des résultats, le problème de l'intégration dans une chaîne de saisie opérationnelle afin de permettre un gain en terme de rendement et de confort pour l'utilisateur.

Nous exposons ici les différentes solutions que nous proposons pour intégrer de l'automatisme dans un processus de saisie du réseau routier. Le principal souci quant au choix des processus est d'imaginer des solutions faisant varier la charge laissée à l'opérateur, suffisamment indépendantes pour que si l'une d'entre elles s'avérait être une impasse, cela ne remette pas en cause l'intérêt des autres.

## B.1.1. Comment intégrer l'automatisme ?

### Le processus actuel

La saisie du réseau routier, telle qu'elle est réalisée actuellement, manuellement par voie photogrammétrique, sera peut-être difficile à concurrencer avec des outils automatiques. En effet, en plus d'une assez grande rapidité, elle offre une parfaite exhaustivité (pas ou peu de problèmes d'interprétation sur les photographies au 1 : 30 000) et une qualité géométrique conforme aux spécifications de la BDTopo. De plus, on peut imaginer dans les années à venir, grâce à une bonne connaissance du relief, faire évoluer cette saisie manuelle stéréoscopique vers une saisie monoscopique (utilisation des données du relief pour passer du repère image au repère cartographique, utilisation d'orthophotographies) qui, aux qualités déjà citées, ajouterait la possibilité d'avoir recours à du matériel moins spécialisé.

### Les possibilités d'évolution vers l'automatisme

Chacun sait qu'il sera difficile d'obtenir, à moyen comme à court terme, de bons résultats dans le domaine de l'interprétation automatique des images aériennes avec des processus complètement automatiques. En industriels, nous nous penchons sur des solutions plus interactives dont on peut penser tirer un profit dans des délais plus courts. Cependant, le problème de l'intégration de l'interactivité dans les processus d'interprétation automatique n'est pas simple. Nous proposons une approche qui permet, par sa modularité, de déboucher "naturellement" sur des solutions interactives sans remettre en cause des ambitions à plus long terme.

### Notre stratégie : trois phases successives

L'originalité de notre approche réside dans l'éclatement du processus en plusieurs phases successives et indépendantes pouvant chacune être automatisée ou laissée au soin d'un opérateur :

- la détection de points de départ,
- la reconnaissance du réseau routier,
- le recalage géométrique sur les axes de routes.

La phase de détection de points de départ correspond à la reconnaissance de quelques points du réseau routier qui seront utilisés pour initialiser la reconnaissance complète du réseau, la phase de reconnaissance correspond à l'extraction d'un graphe du réseau routier à la fois exhaustif et topologiquement correct mais avec une géométrie imprécise et la phase de recalage correspond au recalage de ce graphe sur les axes de routes avec calcul d'une géométrie 3-D.

La séparation entre la détection de points de départ et la reconnaissance complète du réseau est destinée à permettre que la détection soit supervisée par un opérateur, afin de minimiser les risques d'oublis ou de sur-détections. On peut imaginer qu'un opérateur, connaissant les forces et faiblesses de l'algorithme de détection, puisse en augmenter considérablement la fiabilité en indiquant des points caractéristiques du réseau.

Le choix de séparer la phase détection de la phase restitution des axes repose surtout sur la volonté de pouvoir combiner, au sein d'un processus, une détection manuelle et une restitution automatique, le rôle de l'opérateur étant d'indiquer au système l'existence de la route et la géométrie étant extraite automatiquement. Cela paraît intéressant dans la mesure où la phase de restitution est à la fois celle qui semble la plus abordable en automatique et celle qui est la plus coûteuse en temps pour un opérateur. En effet, si pour un opérateur humain l'identification de la route est dans bien des cas presque immédiate, les pointés de précision représentent la plus grosse partie du temps de restitution.

### Les processus envisagés

Partant de cette décomposition en phases successives indépendantes, plusieurs solutions de répartition des tâches entre l'opérateur et la machine sont proposées. Ces solutions sont présentées de la plus interactive vers la plus automatique, ordre qui ne correspond pas à des priorités d'implémentation, toutes étant susceptibles, dans des délais assez courts, de permettre un gain de productivité même avec des algorithmes n'offrant pas une fiabilité parfaite, sachant qu'un contrôle visuel final par un opérateur reste indispensable quel que soit le degré d'automatisation.

#### Seul le recalage est automatique, la détection est manuelle

L'opérateur effectue une saisie expédiée sur une image à résolution dégradée afin de minimiser les déplacements dans l'image et de réduire le nombre de points nécessaires pour décrire la route, puis on recalc le réseau routier extrait sur une l'image à haute résolution.

Il paraît judicieux d'effectuer le recalage géométrique sur l'ensemble du réseau saisi. En effet, à la résolution de travail, les carrefours ne peuvent être correctement représentés que si on leur applique un traitement global prenant en compte tous les tronçons qui en sont issus (figure B.1.1.).

Cette approche ne peut avoir d'intérêt que si la phase de recalage géométrique est presque parfaite. En effet, la charge laissée à l'opérateur est encore importante dans ce processus et un gain de temps ne peut être espéré que si les reprises a posteriori sont peu nombreuses.

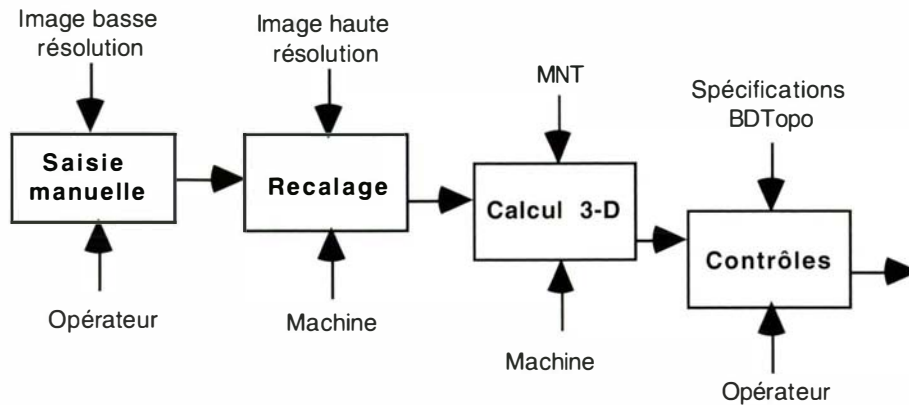


figure B.1.1. : processus de saisie avec détection manuelle et recalage automatique

La détection est automatique mais supervisée

La deuxième solution proposée est basée sur une détection du réseau routier supervisée par un opérateur, c'est-à-dire avec introduction manuelle d'amorces de routes et contrôle en temps réel des résultats de la détection (figure B.1.2.).

Cette approche pose plusieurs problèmes :

- l'opérateur ne pourra valider les tronçons de route extraits que si le recalage a déjà été effectué. Par conséquent, en traitant de façon séquentielle les différents tronçons (détection + recalage géométrique), on va se heurter au problème de la représentation des carrefours,
- il est impératif d'avoir la détection et le recalage en temps réel,
- il faudra doter l'algorithme de détection de fonctionnalités particulières et d'une interface utilisateur bien adaptée : possibilité d'interrompre la détection, de revenir en arrière, de valider partiellement un objet, de compléter manuellement un objet.

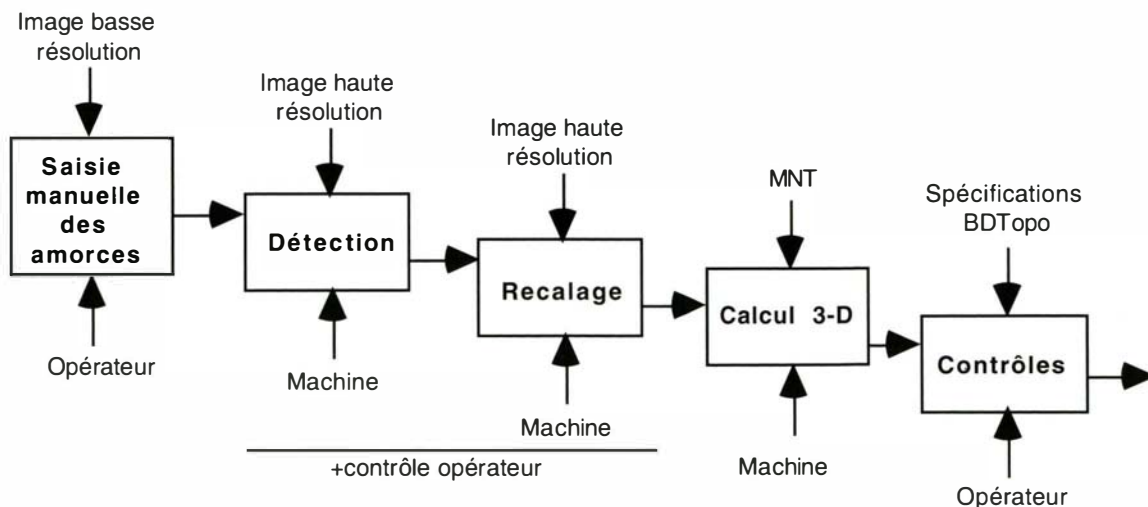


figure B.1.2. : processus de saisie avec détection semi-automatique et recalage automatique

La détection est remplacée par l'introduction de données externes

La troisième solution envisagée est complètement automatique mais fait appel, pour remplacer la phase de détection, à des données externes au processus (figure B.1.3.).

On peut envisager d'utiliser des données routières de précision insuffisante pour notre application, mais qui nous assureront une bonne exhaustivité de la détection et fourniront une position approchée des tronçons permettant un recalage géométrique par les mêmes méthodes que dans le cas d'une détection manuelle ou par suivi de routes.

Deux sources de données sont adaptées à cette approche : d'une part, l'exploitation des cartes existantes par extraction automatique des routes sur des cartes numérisées et, d'autre part, l'exploitation de la Base de Données Cartographique de l'IGN, dont la précision géométrique est insuffisante mais dont le contenu sémantique est important et peut aider à l'interprétation de l'image.

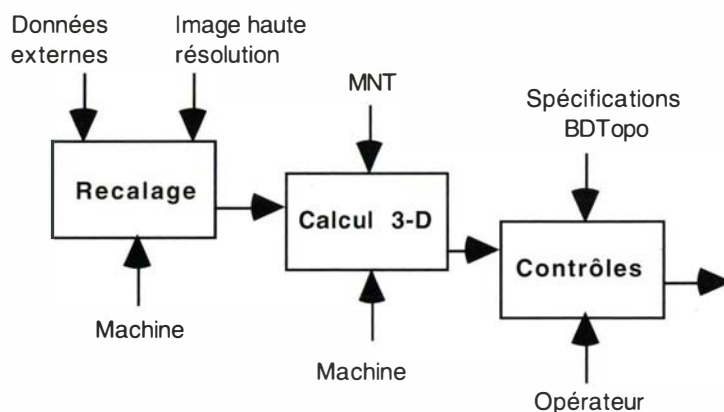


figure B.1.3. : processus de saisie avec utilisation de données externes

Le processus est entièrement automatique

La dernière approche proposée est un processus entièrement automatique et produit un graphe du réseau routier à partir de l'image sans adjonction de données externes (figure B.1.4.).

Il ne faut pas s'attendre, dans un avenir proche, à obtenir de très bons résultats avec une telle méthode. On peut surtout craindre de gros problèmes de détection (oublis ou fausses détections). En effet, pour obtenir un bon taux de fiabilité, il faudrait être capable d'évaluer automatiquement la qualité des résultats afin de filtrer les erreurs. Cette phase d'auto-évaluation des résultats par les algorithmes qui les produisent est un point critique en analyse d'image, l'évaluation de la qualité d'un résultat par l'intermédiaire des critères qui ont été optimisés ne mettant pas à l'abri des erreurs.

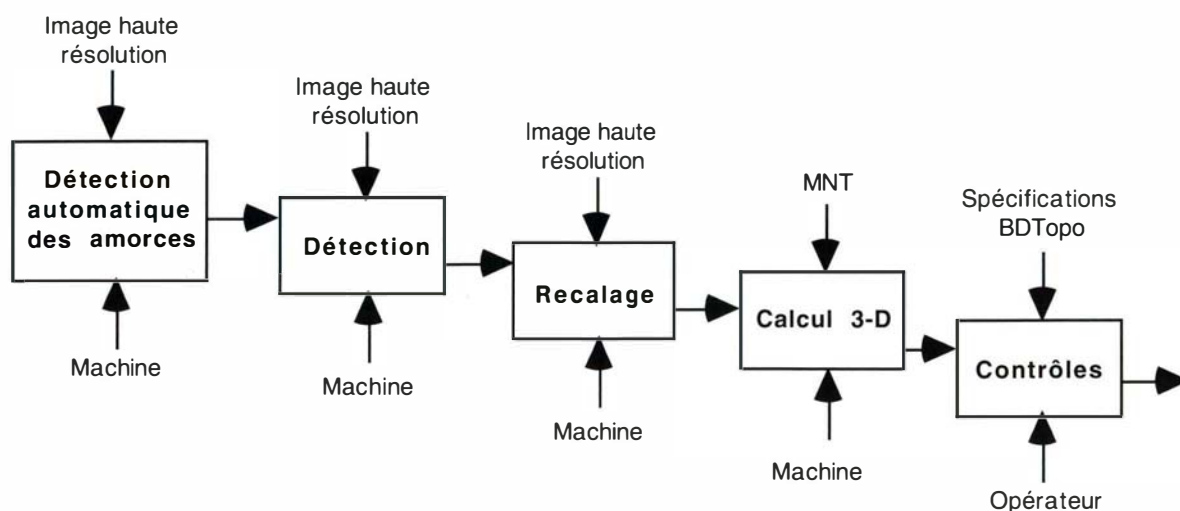


figure B.1.4. : processus de saisie automatique

## Conclusion

Pour mettre en oeuvre ces différentes solutions, il est donc nécessaire de disposer de trois modules indépendants qui seront enchaînés et habillés différemment au sein de plusieurs applications (figure B.1.5.) :

- un module de détection de points de départ qui fournit en sortie les coordonnées de points isolés du réseau routier,
- un module de reconnaissance des routes qui admet en entrée une liste de points du réseau et fournit en sortie un graphe exhaustif avec une topologie correcte mais une géométrie imprécise,
- un module de recalage géométrique qui admet en entrée un graphe du réseau à la géométrie imprécise et fournit en sortie le graphe définitif.

La modularité des processus envisagés permettra alors de bien isoler les points-clés et les sources d'erreurs au sein d'un processus et de formuler des objectifs à atteindre phase par phase en termes de fiabilité et d'exhaustivité. Il sera alors possible de faire évoluer indépendamment les uns des autres les différents modules qui composent un processus.

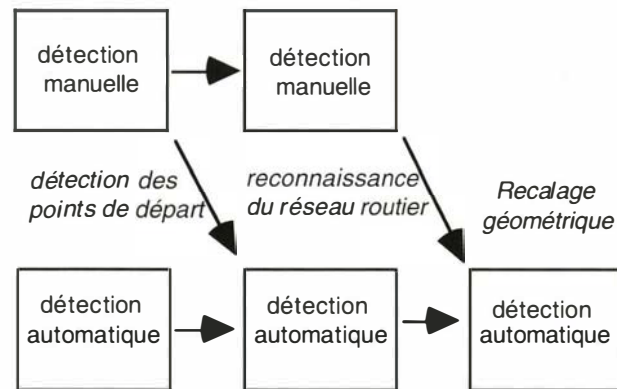


figure B.1.5. : les phases manuelles ou automatiques de la saisie et leur enchaînement possible

## Références

[AIRAULT 93] S. Airault & O. Jamet : *Automatisation de la saisie des routes sur images aériennes*, Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n° 31, pp. 12-23, décembre 1993.

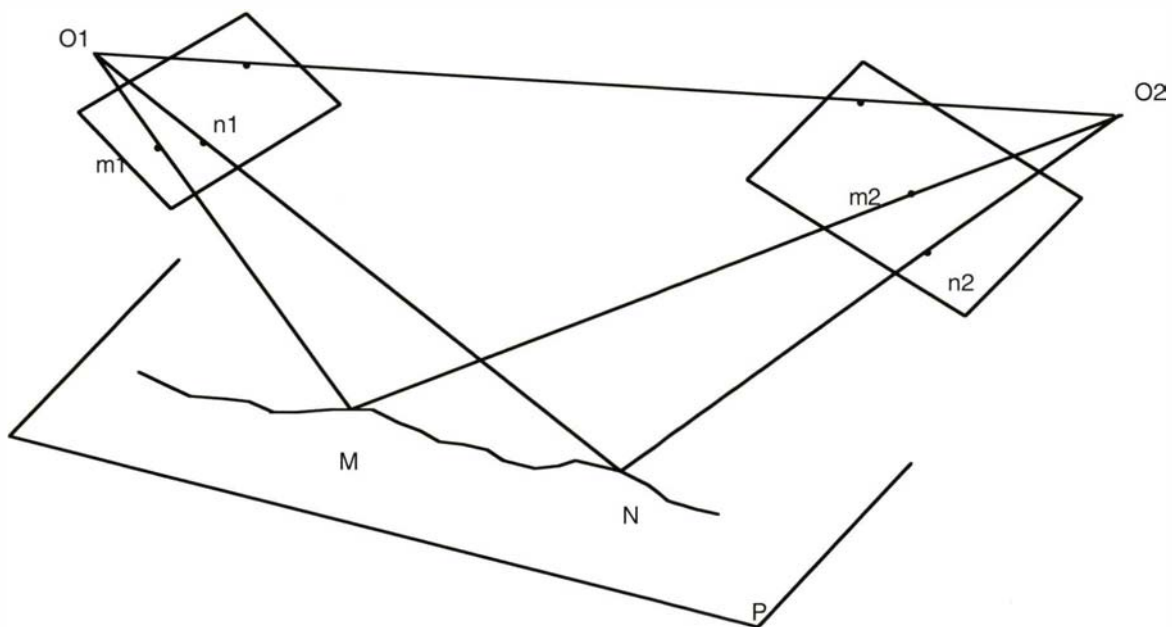
[AIRAULT 94] S. Airault & O. Jamet : *Détection et restitution automatiques du réseau routier sur images aériennes*, Actes du congrès RFIA, vol. 1, pp. 519-531, Paris (F), janvier 1994.



## B.2. Mise en place relative automatique d'un couple stéréoscopique

par Philippe GUIAVARC'H

La mise en place relative d'un couple stéréoscopique consiste à déterminer la position relative des deux faisceaux perspectifs de chacune des images. Ceci se fait par détermination de points homologues (ie correspondant au même détail sur le terrain) sur chacun des deux clichés.



*figure B.2.1. : les points O1 et O2 représentent les sommets de prise de vue; les points m1 et m2, ainsi que n1 et n2, sont homologues*

L'utilisation de données numériques a permis de penser que cette étape, qui est effectuée manuellement sur les systèmes classiques, pouvait être automatisée. Le but de cette recherche était donc de mettre au point un procédé d'orientation relative automatique alliant fiabilité et précision, et pouvant fonctionner quelque soit le type de terrain et le pas de numérisation des clichés.

### B.2.1. Méthode générale

La méthode générale, qui peut être définie comme étant le squelette commun à toutes les méthodes qui vont être présentées par la suite, consiste à rechercher pour chaque point d'une grille régulière situé sur l'image gauche, et recouvrant le couple stéréoscopique, son homologue sur l'image droite.

La méthode est composée de trois phases principales :



### Phase de pointé

Une valeur approximative de la base-cliché est donnée afin de définir la valeur moyenne de la parallaxe sur le couple (ce qui permettra de définir les positions de recherche approchée sur l'image droite), ainsi qu'un seuil définissant la valeur minimale d'acceptation du coefficient de corrélation (la valeur de 0.85 est généralement utilisée).

La recherche d'un appariement pour chaque point de la grille est alors effectuée par corrélation automatique. La position du point origine de la grille sur l'image gauche pourra être modifiée (neuf positions pourront être testées, car le point de la grille n'est pas forcément un point facilement corrélable), et pour chacune de ces positions, on fera varier la position de recherche sur l'image droite autour de sa position approximative (cinq variations sont possibles à chaque fois), et ceci jusqu'à ce que l'on obtienne un appariement avec un coefficient de corrélation supérieur au seuil préalablement défini.

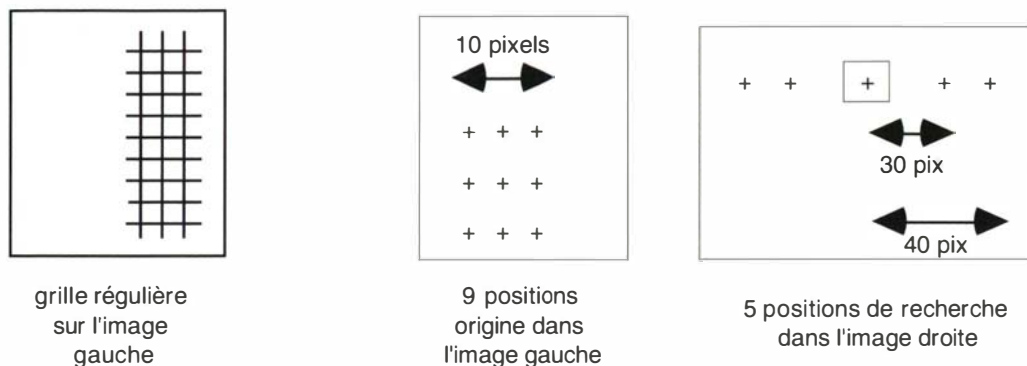


figure B.2.2. : stratégie de recherche des points homologues

### Phase de validation

La validation consiste à effectuer un calcul de mise en place relative à l'aide des points homologues déterminés, et à éliminer les points qui présentent des résidus-clichés trop importants.

### Phase de résultats

Sortie des coordonnées clichés des points validés, ainsi que des résidus-clichés rencontrés. Optimisation, afin d'obtenir l'orientation relative finale, des trois éléments suivants : le nombre de points, la répartition des points sur le couple, et l'erreur moyenne quadratique (EMQ) calculée sur les résidus-clichés.

## B.2.2. Axes de recherche et tests

### B.2.2.1. Les images

Afin de tenir compte des différents paramètres caractéristiques des images (type de paysage, échelle des clichés, pas de numérisation des clichés...), différentes configurations de site-test ont été utilisées :

Site	échelle	type de paysage	pas de numérisation
Djibouti	1 : 4 500	Zone désertique	50, 200, 800 microns
Saint-Mandé	1 : 20 000	Forte urbanisation	20, 300, 900 microns
Albertville	1 : 30 000	Zone très montagneuse	50, 200, 800 microns
Château-Renard	1 : 30 000	Bocage + montagne + urbain	18,270 microns
Valréas	1 : 20 000	Zone pavillonnaire	20,300 microns

### B.2.2.2. Insuffisances de la méthode

Les insuffisances du procédé que l'on va tenter de réduire par les différentes méthodes explicitées dans la suite, sont les suivantes :

- L'influence de la résolution fait que dans certains cas, la méthode n'est pas applicable. Le travail itératif avec plusieurs résolutions pourrait donc donner des résultats intéressants.

- Positionnement arbitraire des points de la grille. Les points de la grille sont des points pris au hasard, et ne sont donc pas obligatoirement facilement corrélables (le fait qu'il y ait neuf positions origines possibles limite tout de même ce problème).

- Le fait de n'avoir qu'une seule valeur de la parallaxe approchée sur tout le couple peut s'avérer dangereux, surtout sur des zones à fort relief.

- Nombre de points insuffisants. Le fait d'augmenter le nombre de points, n'est pas un problème car tout est automatique. Mais pour cela il est nécessaire d'augmenter la fiabilité des mesures, car il sera très difficile d'effectuer un contrôle visuel sur le très grand nombre de points retenus.

### B.2.2.3. Les différentes méthodes testées

#### B.2.2.3.1. La résolution de l'image

##### Influence de la résolution

L'utilisation de la méthode générale précédemment décrite avait montré en 1992, que de bons résultats (résidus-clichés quadratiques moyens inférieurs au 1/10ème de pixel) étaient obtenus sur des couples de région non urbanisée, numérisés avec des résolutions assez basses (200 microns), mais que les résultats étaient décevants, voire inexistantes, sur les zones urbanisées, ainsi que lorsqu'on utilisait des résolutions assez élevées (20 microns) (cf. *Bulletin d'information n° 61*).

##### Procédé double résolution

En raison des précédentes constatations, un procédé utilisant deux résolutions a été testé. Une première itération est effectuée avec une résolution assez basse, les points validés sont conservés et servent de points d'origines fixes pour les recherches de points homologues effectuées avec une résolution plus forte. Différents tests ont été menés :

Couple	Djibouti		Albertville	
<b>Pas</b>	400	200	300	50
<b>Pts Val</b>	64/72	24/64	61/90	39/61
<b>EMQ</b>	11	10	20	11
<b>Max</b>	25	27	58	22
<b>EMQ/(pixel)</b>	1/36	1/20	1/15	1/4

Cette méthode utilisée indépendamment ne donne pas de résultats concluants, du fait qu'un point qui se corrèle bien à une résolution basse, ne se corrèlera pas obligatoirement bien à une résolution plus élevée (en raison de l'augmentation de l'information).

#### B.2.2.3.2. Le choix des points

Pour remédier au fait que les points de la grille ont des positions arbitraires, on décide de choisir un point à l'intérieur de chacune des zones définies par la grille, à l'aide de critères de contraste local. Cette méthode n'a pas engendré une amélioration importante des résultats, ni une diminution du temps de calcul.

#### B.2.2.3.3. Procédé en deux étapes

Cette méthode est appliquée pour réduire le danger introduit du fait que l'on utilise une valeur unique de parallaxe moyenne sur tout le couple.

Le procédé est composé de deux étapes :

- la première étape consiste à obtenir une grille de points fiables (composée de la moitié des points de la grille finale) même si leur localisation ne se révèle pas très précise. Pour cela on utilisera des paramètres de corrélation spécifique : zone de recherche de maximum de corrélation relativement importante et fenêtre de corrélation assez grande,
- on pourra alors à l'aide de ces points, dans la seconde étape, avoir une bonne idée de la parallaxe en tous points de l'image pour déterminer la grille finale (en reprenant les paramètres de corrélation normaux).

<b>Couple</b>	<b>Djibouti</b>		<b>Saint-Mandé</b>		<b>Albertville</b>	
<b>Etape</b>	1	2	1	2	1	2
<b>Pas</b>	200	200	300	300	300	300
<b>Pts Val</b>	41/50	80/90	45/50	71/90	33/50	50/90
<b>EMQ</b>	6	7	10	13	14	11
<b>Max</b>	13	19	26	30	28	29
<b>EMQ(/pixel)</b>	1/33	1/28	1/30	1/23	1/21	1/27

Cette technique semble pouvoir rendre la méthode plus sûre, surtout pour les terrains relativement accidentés, pour lesquels une bonne valeur approchée de la parallaxe est primordiale.

De plus, le fait d'avoir une plus grande fiabilité sur les points va permettre d'augmenter le nombre de tentatives (on va passer de 90 à 1000 points). Un nombre de points plus important entraînera une densification des points, et de plus une meilleure répartition sur le couple.

#### **B.2.2.4. Méthode combinée**

Se servant des résultats obtenus dans les expériences précédemment décrites, une nouvelle méthode, qui mixe les différents procédés explicités ci-dessus, a été mise au point. Celle-ci présente les différentes propriétés suivantes :

- utilisation d'une grille de départ de 1 000 points,
- détermination en "double étape" pour la première résolution uniquement,
- procédé "double résolution" (en se gardant cette fois la possibilité de rechercher un autre point autour de celui défini par la résolution précédente, si celui-ci ne semble pas convenir. 36 positions sont testées dans un voisinage de 10 pixels).

<b>Couple</b>	<b>Etape</b>	<b>Pas(m)</b>	<b>Pts Val</b>	<b>EMQ(m)</b>	<b>Max(m)</b>	<b>EMQ (/pixel)</b>
<b>Djibouti</b>	résolution 1 / étape 1	800	522 / 550	31	79	1/25
	résolution 1 / étape 2	800	933 / 995	34	79	1/23
	résolution 2	200	419 / 933	10	30	1/20
	résolution 2	50	877 / 933	4	10	1/12
<b>Albertville</b>	résolution 1 / étape 1	800	434 / 550	36	84	1/22
	résolution 1 / étape 2	800	600 / 995	27	54	1/29
	résolution 2	200	406 / 600	13	30	1/15
	résolution 2	50	401 / 743	4	10	1/12
<b>Saint-Mandé</b>	résolution 1 / étape 2	300	942 / 995	15	39	1/20
	résolution 2	20	130 / 942	5	9	1/4
<b>Château-Renard</b>	résolution 1 / étape 2	270	705 / 995	10	20	1/27
	résolution 2	18	248 / 705	3	7	1/6
<b>Valréas</b>	résolution 1 / étape 2	300	858 / 995	18	50	1/16
	résolution 2	20	297 / 858	3	6	1/6

Les différents tests menés, ont démontré la valeur de cette méthode en raison de sa robustesse, et ceci malgré des calculs plus lourds.

### **2.3. Estimation des résultats et répartition des points**

Il est relativement difficile de définir un estimateur de la qualité de la mise en place réalisée, car la valeur moyenne quadratique des résidus va dépendre totalement du seuil de résidu (imposé après le calcul de mise en place), et donc du nombre de points qui auront été conservés. On peut voir cela dans l'exemple suivant, représentant l'évolution des éléments [Pts Val, EMQ et Max] lorsque l'on fait varier le seuil de validation des points :

Couple Djibouti (50 microns)

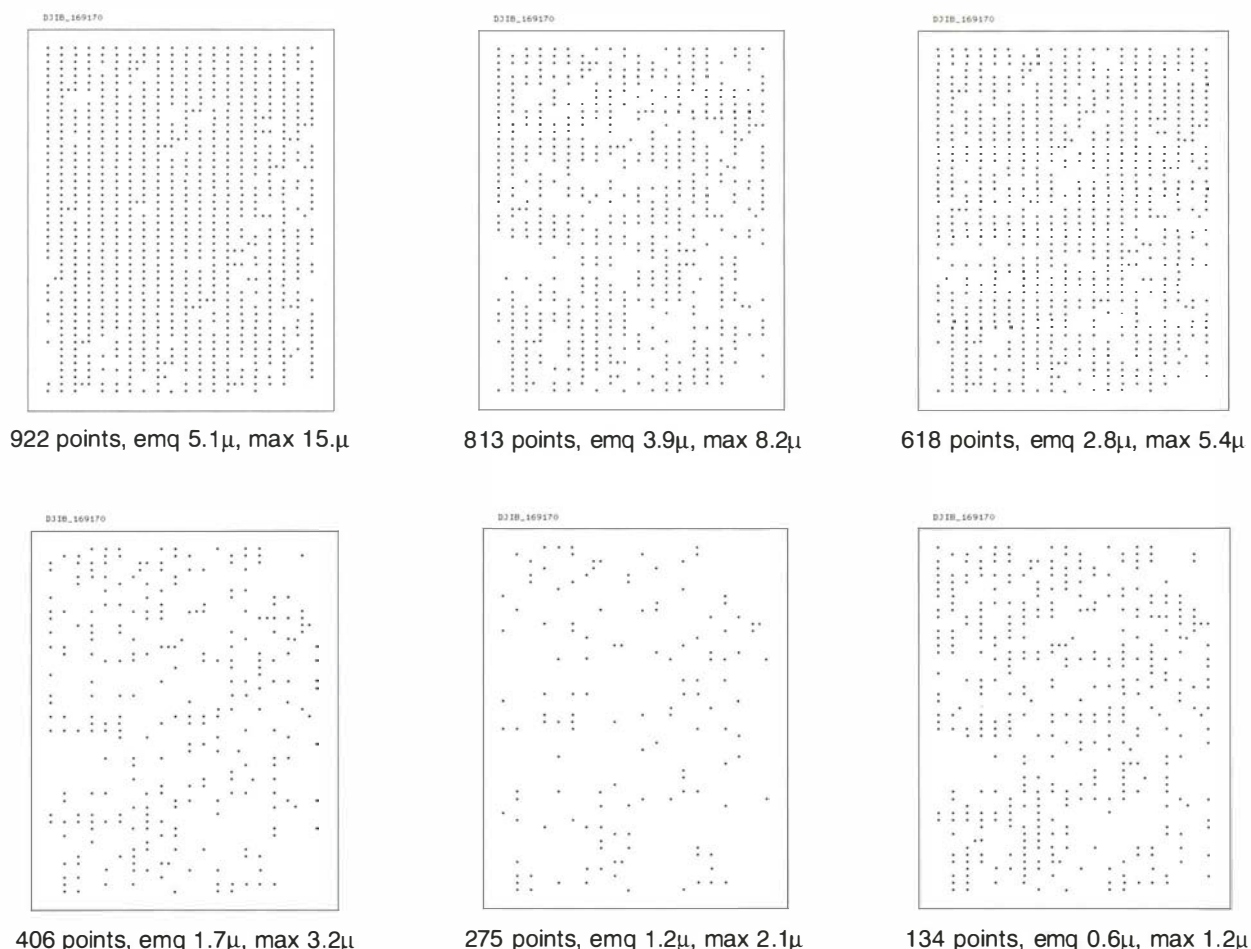
<b>Pts Val</b>	922	813	618	406	275	134
<b>EMQ</b>	5.1	3.9	2.8	1.7	1.2	0.6
<b>Max</b>	15.0	8.2	5.4	3.2	2.1	1.2

Pour déterminer le seuil de résidu minimal que l'on peut employer, on peut s'aider de la répartition des points. On sépare le couple en six zones, et on donne un nombre de points homologues minimum par zone (ou une fraction du nombre de points total) à ne pas dépasser. De cette façon on aura un estimateur qualitatif du groupe de points trouvés (ie l'EMQ sur les résidus lorsque le nombre des points est minimal sur une des six zones), ainsi qu'une possibilité de contrôle de la répartition.

Pour l'exemple de Djibouti ci-dessus, la répartition est la suivante :

<b>922 points :</b>	154	153	<b>134 points :</b>	27	22
	178	160		16	23
	140	137		32	14

La figure B.2.3. illustre la répartition des points obtenue pour les six seuils utilisés. L'illustration **image-couleur** présente une répartition moyenne obtenue sur le couple d'Albertville.



**figure B.2.3. :** répartition des points homologues sur l'entreprise commune du couple Djibouti

## B.2.4. Conclusion

La méthode précédemment décrite donne des résultats satisfaisants, sur quasiment tous les types de terrain rencontrés. Néanmoins il serait intéressant de limiter les intervalles de recherche lors du travail sur la seconde résolution avec des techniques du style ligne épipolaire. Il serait également bon d'améliorer et d'automatiser l'analyseur de répartition des points.

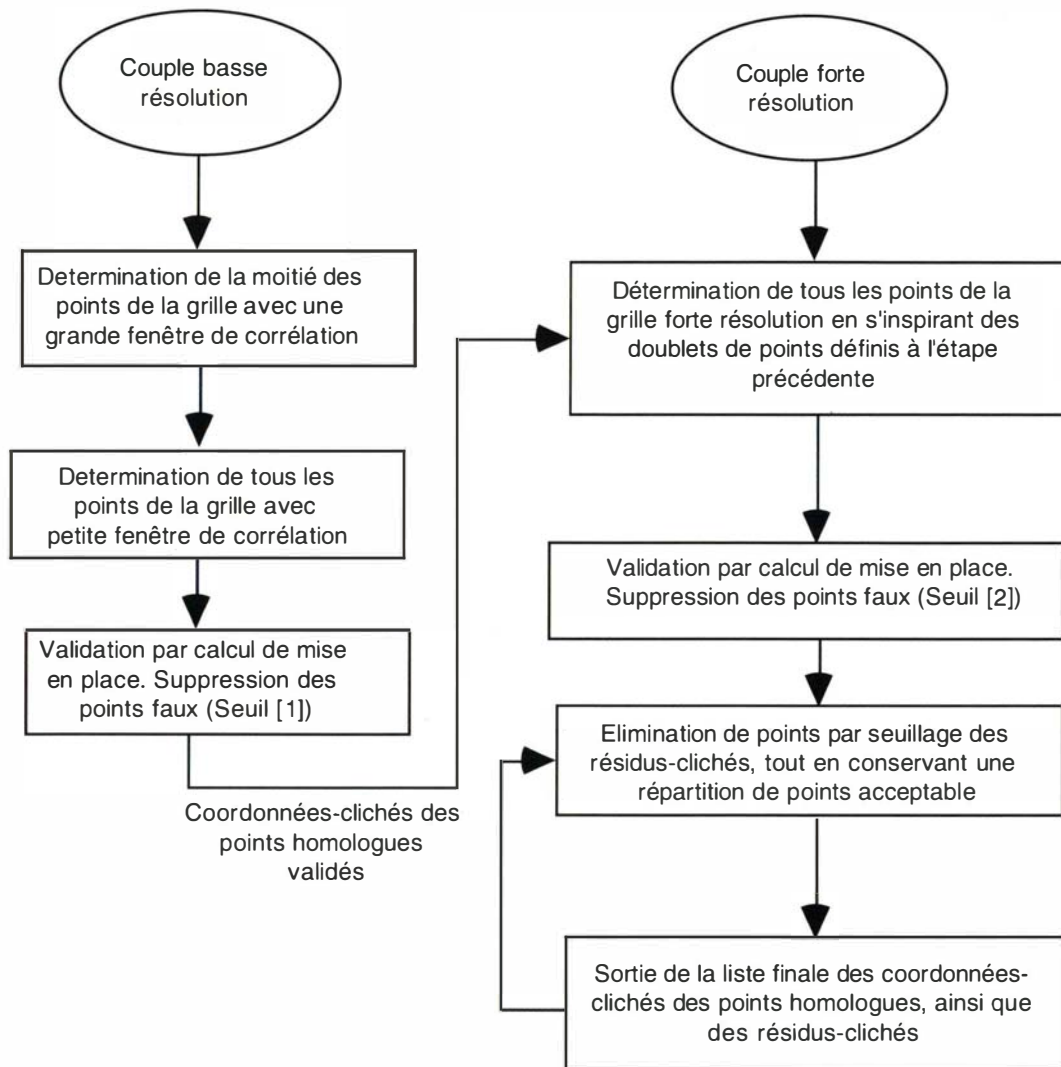


figure B.2.4. : schéma du processus de recherche des points homologues

## B.3. Réalisation d'un prototype de caméra aérienne numérique

par Christian THOM et Isabelle JURVILLIER

### Introduction

*Le développement à l'Institut Géographique National d'une caméra numérique aérienne avait pour principal objectif d'obtenir un instrument qui permette l'acquisition rapide d'images afin d'accélérer la réalisation et la mise à jour de la Base de Données Topographique. Aucun fabricant traditionnel de chambres de prise de vue photogrammétriques n'ayant, au moins officiellement, travaillé sur les capteurs électroniques d'images matriciels, la réalisation d'un prototype d'une telle caméra voulait démontrer l'intérêt du procédé.*

*Les avantages des capteurs d'images "Charge Coupled Device" (CCD) par rapport à la photographie traditionnelle argentique ont été présentés dans les comptes rendus précédents : dynamique, rapport signal/bruit, stabilité géométrique, disponibilité des images... Leur utilisation pour les prises de vue aériennes destinées à la photogrammétrie nécessite cependant de résoudre certaines difficultés dont les plus importantes sont l'acquisition et le stockage en temps réel, et à bord d'un avion, d'une grande quantité de données arrivant à haut débit, et la vitesse de lecture du capteur qui doit être suffisamment rapide pour pouvoir faire des images stéréoscopiques à grande échelle. Malheureusement, aucun des trois capteurs qui ont été successivement installés ne possédait les caractéristiques adaptées à notre application. En particulier, la capacité des puits de potentiel est trop faible et la vitesse de lecture de la matrice trop lente.*

### B.3.1. Première mission aérienne et résultats

Une première mission de photographie aérienne a été réalisée à la mi-février 1993. La date était imposée par la disponibilité de l'avion bien que la saison et le temps ce jour-là ne se prêtaient pas à l'entreprise. D'autre part, le format des images était réduit à 3000 par 4000 pixels à cause d'un défaut en bord de champ qui depuis a été réglé.

Les 45 images (5 bandes de 9) rapportées couvrent une zone de 12 par 24 km au total, chacune représentant 4 x 4 km<sup>2</sup> environ. Le vol a eu lieu à l'ouest de Charleville-Mézières à une altitude sol de 3500 m environ. Par conséquent, avec un objectif de focale 24 mm et une taille de pixel de 7,5 µm, le pixel sol était d'un peu plus de 1 m, taille en dessous de laquelle la caméra ne permet plus de faire des images stéréoscopiques. Le recouvrement longitudinal des images était théoriquement de 55%, mais à cause des variations soit d'altitude, soit de vitesse, soit d'attitude de l'avion, il est plus souvent proche de 50%, ce qui est un peu juste pour une exploitation photogrammétrique. L'intervalle de prise de vue était de 20 secondes et le filé de deux pixels environ avec un temps de pose de 20 ms et une vitesse de déplacement de 100 m/s.

La qualité visuelle des images était considérablement dégradée par la présence des colonnes défectueuses en bord de champ mais les autres défauts de l'image ont tous pu être plus ou moins bien corrigés. La totalité de la dynamique ne pouvant pas être utilisée en raison des réflexions spéculaires qui provoquent l'éblouissement de la matrice, le rapport signal/bruit dans les zones les plus brillantes atteint difficilement 40. Un défaut de perpendicularité du capteur par rapport à l'axe optique a été détecté à cette occasion, les images devenant progressivement floues sur leur bord droit. Depuis, un dispositif a été réalisé pour régler ce problème.

Avant de pouvoir être exploitées, les images doivent subir différentes transformations : décompression et correction des nombreux défauts qu'elles contiennent car ils sont gênants pour la plupart des algorithmes de traitement, comme la corrélation par exemple.

La première exploitation des images envisagée pour démontrer les qualités photogrammétriques de ce nouveau système de prise de vue a été la réalisation par un procédé quasi automatique d'une mosaïque d'orthophotos de la zone survolée. Les différentes étapes en sont :

- pointé manuel dans tout le bloc d'images de 24 points d'appui. Les coordonnées de ces points sont prises sur une carte topographique au 1 : 25 000. C'est la seule opération nécessairement manuelle de l'ensemble de la chaîne de production,
- calcul automatique d'aérottriangulation, avec environ 150 points communs par image, trouvés par corrélation,
- calcul du Modèle Numérique de Terrain par corrélation sur tous les couples stéréoscopiques,
- assemblage et lissage des Modèles Numériques de Terrain,
- calcul des orthophotos,
- réalisation de la mosaïque et fusion des limites des orthophotos.

La mosaïque réalisée couvre une zone de 12 par 24 km et est composée de 4800 par 2400 pixels de 5 m au sol. Le sous-échantillonnage, qui a réduit les images initiales cinq fois, atténue les défauts dus au flou qui gênent les calculs de corrélation, et permet également d'avoir des images plus petites donc plus faciles à manipuler en mémoire.

Le résultat obtenu (voir figure B.3.1) est encourageant puisque les mauvaises conditions d'illumination, les défauts et le flou dans les images n'ont pas empêché d'exploiter la mission. Cela a permis d'autre part de vérifier qu'il y a encore effectivement de l'information dans les zones sombres des images. Il serait intéressant d'exploiter cet avantage pour la production rapide d'orthophotos dans des zones où les ombres posent problème comme les zones urbaines par exemple.



*figure B.3.1. : portion d'image issue de la caméra CCD*

## **B.3.2. Du prototype à une caméra de production courante**

### **B.3.2.1. Évolution du prototype actuel**

Comme il l'a déjà été dit, le problème le plus important du système actuel vient du capteur CCD qui n'est pas adapté à la photographie aérienne. Il contient également trop de défauts qui dégradent la qualité visuelle des images et, de plus, le temps nécessaire pour corriger celles-ci est une entrave à leur disponibilité. Mais, puisque LORAL FAIRCHILD IMAGING SYSTEMS a fermé sa chaîne de production de capteurs 4K x 4K, le prototype actuel ne peut plus évoluer vers un instrument utilisable en production courante et il est nécessaire de trouver une autre caméra pour le remplacer. Des solutions existent mais ne sont pas immédiatement disponibles. Alors, dans l'attente, il est possible et intéressant d'améliorer certains aspects du prototype et d'effectuer des missions aériennes pour tester l'équipement et évaluer la qualité des images dans différentes conditions de prise de vue.

Les améliorations possibles portent notamment sur :

- le système de sauvegarde en vol des images qui est actuellement un disque dur de 1 Goctet. Il pourrait être remplacé par un disque dur de plus grande capacité, un ensemble de disques durs, un système de sauvegarde sur bande magnétique vidéo ou sur disque optique... Les systèmes essayés jusqu'à présent (essai de connexion sur nos systèmes informatiques et test du débit de données obtenu) n'ont pas donné satisfaction. Cependant de nouveaux appareils apparaissent régulièrement sur le marché pour le stockage de grande capacité à haut débit,
  - l'optique (obturateur rapide ou objectif spécial),
  - l'ergonomie (poids, affichage des images en vol),
  - la fiabilité.

Les missions aériennes prévues doivent être réalisées dans de bonnes conditions météorologiques pour comparer les images obtenues avec des images équivalentes numérisées. Cette comparaison devra être faite en n'oubliant pas que du point de vue de la dynamique, du rapport signal/bruit et de la quantité de défauts des images, le résultat obtenu avec

cette caméra est loin d'être optimale et que d'autres capteurs ont de bien meilleures caractéristiques. Cependant, cela devrait permettre quand même de se rendre compte des apports de l'image numérique, par exemple pour distinguer les bords des chaussées dans les zones d'ombres des immeubles. Une mission en zone urbaine permettra de faire cette évaluation. Il est prévu également de réaliser des missions dans différentes conditions : types de paysage, heures de la journée, météo, saisons... pour pouvoir tester les limites du système et avoir une idée plus précise des applications possibles d'un tel instrument.

### **B.3.2.2. Vers une caméra de production courante**

Plusieurs constructeurs proposent maintenant assez couramment des caméras équipées de capteurs CCD 2K x 2K avec des performances significativement meilleures que celles du prototype développé à l'IGN. Cependant, notamment pour se rapprocher du format des images traditionnelles numérisées, il est plus intéressant de disposer d'un capteur plus grand. A l'heure actuelle, le plus grand format est obtenu avec un capteur 5120 par 5120 pixels de la société canadienne DALSA. Ce capteur a été conçu au départ pour une application militaire de surveillance aérienne et par conséquent ses caractéristiques sont adaptées à notre application : capacité des puits de potentiel de 120 000 électrons (contre 6000 pour le prototype de l'IGN), dynamique de 1600, signal/bruit de 300, fréquence trame de 1,8 images par seconde (contre trois images par minute)... DALSA fabrique également la caméra autour de ce capteur et travaille en collaboration avec d'autres entreprises pour la réalisation des cartes d'acquisition d'images. Une première caméra de ce type a déjà été vendue et d'autres développements sont envisagés à moyen terme sur ce capteur, en particulier l'installation d'un système d'anti-éblouissement et peut-être d'un obturateur électronique, ce qui est une excellente nouvelle étant donné qu'il est difficile de trouver des obturateurs électromécaniques ou électro-optiques adaptés à la taille de ces grands capteurs. Il reste cependant un grand nombre de développements pour faire de cette caméra un instrument utilisable pour la production courante de photos aériennes numériques destinées à la photogrammétrie.

### **B.3.2.3. Industrialisation et participation européenne**

Un des buts de cette action de recherche est d'intéresser les industriels à ce projet afin de leur faire développer une caméra aérienne numérique industrielle et dans cette perspective, les premiers contacts ont été établis avec ceux qui ont manifesté leur intérêt. Les quelques problèmes techniques qu'il reste à résoudre n'ont pas semblé insurmontables, les principales questions d'un industriel portant sur la définition des spécifications qui permettraient d'ouvrir au produit le marché le plus large possible, le financement pour la réalisation du premier instrument et les collaborations européennes envisageables.

D'autre part, une présentation générale du projet a été faite en mai 1993 aux membres du Comité Directeur de l'OEEPE (Organisation Européenne d'Etudes Photogrammétriques Expérimentales). Puis en octobre 1993, un exposé technique a été présenté devant le Comité Scientifique de la même organisation pour susciter une collaboration européenne entre les instituts ou les entreprises intéressés par une caméra numérique aérienne de ce type, afin de les faire participer d'une façon ou d'une autre à la réalisation d'un tel instrument dont le prix sera nécessairement assez élevé au départ. L'Institut Géographique National, fort de l'expérience acquise avec ce prototype, proposera une première liste de spécifications pour une caméra numérique aérienne industrielle, liste qui servira de point de départ pour les futures discussions autour de ce projet. Celles-ci devraient à terme aboutir à un appel d'offres.

## **Conclusion**

Bien que ce premier prototype de caméra aérienne numérique soit à de nombreux égards imparfait, les premiers résultats obtenus démontrent quand même l'intérêt d'un tel instrument pour les travaux photogrammétriques. Les missions suivantes, réalisées dans de meilleures conditions et avec un système de prise de vue sensiblement amélioré, devraient permettre de confirmer nos premières conclusions. L'avenir des caméras numériques de grand format semble assuré avec le développement récent, et rapide, de capteurs de bonne qualité. Il reste néanmoins plusieurs étapes à réaliser pour passer d'un capteur à un système de prise de vue aérienne photogrammétrique, et, étant donné les coûts de développement, la solution semble être aujourd'hui l'établissement d'une collaboration entre industriels et utilisateurs, aussi bien pour définir les spécifications de l'instrument que pour trouver le financement du projet.

## **Références**

[THOM et al] Ch. Thom, I. Jurvillier & P. Mousnier Lompré : *Réalisation d'un prototype de caméra aérienne numérique*, Forum FI3G, Strasbourg (F), mai 1992.

[THOM et al] Ch. Thom & I. Jurvillier : *Compte-rendu du premier essai en vol de la caméra numérique*, IGN, Service de la Recherche, Laboratoire LOEMI, juin 1992.

[THOM et al] Ch. Thom & I. Jurvillier : *Experiences with a digital aerial camera at Institut Géographique National*, Photogrammetric Week, Stuttgart (D), septembre 1993.





## B.4. Exploitation cartographique d'images RADAR

par Sylvia PHILIPPE et Patrick GIGORD

### B.4.1. Contexte - Objectifs

Après une période de veille technologique, l'IGN a décidé de relancer activement les recherches relatives à l'exploitation cartographique des images RADAR. Depuis l'automne 1993 deux ingénieurs d'IGN-Espace sont affectés à temps plein à cette action.

L'objectif prioritaire concernait l'adaptation de la filière de production d'ortho-images et de spatio-cartes d'IGN-Espace à l'imagerie ERS.

L'effort a donc porté essentiellement sur l'analyse du contenu informatif des images, les traitements géométriques (reprise et complément des travaux réalisés en 1992 par Sylvia PHILIPPE lors de son stage de 2ème année) et l'amélioration de lisibilité.

### B.4.2. Activités - Résultats

#### B.4.2.1. Recalage des images ERS par rapport à un référentiel terrain

##### Principe de l'algorithme

La fonction de localisation employée s'appuie sur une description physique de la prise de vue permettant de prendre en compte rigoureusement l'altitude des points.

La position du satellite est décrite par un polynôme  $P(t)$ , sa vitesse  $V(t)$  est déduite par dérivation. Les lois d'échantillonnage en temps et distance sont décrites par des polynômes :  $L(t)$  et  $C(d)$ ;  $L$  et  $C$  désignent les numéros de ligne et colonne d'un détail image,  $t$  l'instant de prise de vue et  $d$  la distance du satellite au point observé.

Dans le cas d'une synthèse à DOPPLER zéro, les équations liant  $t$ ,  $d$  et la position  $M$  du point observé s'écrivent:

$$(M - P(t)) \cdot V(t) = 0 \quad \text{et} \quad d = || M - P(t) ||$$

Les estimations de  $P(t)$ ,  $L(t)$  et  $C(d)$  déduites des données géométriques accompagnant les images permettent pour tout point  $M$  de calculer des valeurs approchées des coordonnées image  $L_a$  et  $C_a$ .

L'observation de détails ponctuels sur carte et image fournit des échantillons  $(M_i, L_i, C_i)$ . De  $M_i$  on déduit les coordonnées image approchées  $L_{ai}$  et  $C_{ai}$ . Les écarts entre les coordonnées image exactes et approchées sont décrits par des polynômes  $\Delta L$  et  $\Delta C$ . Leurs coefficients sont calculés en résolvant par moindres carrés, les systèmes linéaires :

$$\{ L_i - L_{ai} = \Delta L(L_{ai}, C_{ai}) \} \quad \text{et} \quad \{ C_i - C_{ai} = \Delta C(L_{ai}, C_{ai}) \}$$

Le logiciel développé permet de limiter le calcul à certains des coefficients de  $\Delta L$  et  $\Delta C$ .

##### Expérimentation et résultats

Contrairement à l'imagerie SPOT, l'imagerie ERS est géométriquement insensible aux erreurs de pointage du satellite; les seules erreurs à corriger sont des biais de position, de datation, de distance et marginalement de vitesse.

Ces divers paramètres sont très corrélés. A l'échelle d'une scène ERS (100 km par 100 km) on peut montrer qu'un modèle de recalage à trois degrés de liberté du type  $\Delta L = \alpha$  et  $\Delta C = \beta + \gamma \cdot C$  approxime correctement la réalité.

Le tableau suivant présente les résultats des tests réalisés sur cinq images :

tableau B.4.1. : résidus de modélisation obtenus avec le modèle  $DL = a$  et  $DC = b + g \cdot C$

Image	Nombre de points		Résidus RMQ	MAX	Commentaire
	mesurés	retenus			
Interlaken	1	2	3 m	4 m	Fort relief
Tunisie	5	6	7 m	8 m	Cartographie médiocre
Kiev	9	10	11 m	12 m	
Camargue 1	13	14	15 m	16 m	Bonne cartographie
Camargue 2	17	18	19 m	20 m	

Les forts résidus obtenus sur les trois premières images traitées s'expliquent par un fort relief ou une cartographie médiocre.

Le fort gain de qualité entre Camargue 1 et Camargue 2 reflète les progrès réalisés dans la sélection des points d'appui et démontre la nécessité d'un apprentissage spécifique pour interpréter correctement l'imagerie RADAR.

L'ajout de termes dans les polynômes  $\Delta L$  et  $\Delta C$  ne modifie pas significativement la localisation dans les zones couvertes par les points d'appui mais fait apparaître de forts écarts quand on extrapole en bord d'image. Cela met bien en évidence les problèmes d'amplification d'erreurs que l'on pourrait rencontrer en utilisant un modèle trop permissif.

Des essais partiels à compléter ultérieurement montrent que la localisation reste stable tant qu'on conserve un minimum de 12 à 16 points d'appui répartis pour moitié à gauche de l'image et pour moitié à droite. La densité de points d'appui nécessaire est donc du même ordre de grandeur que pour SPOT (4 à 6 points par scène pour une superficie trois fois moindre).

#### B.4.2.2. Analyse de l'effet du relief sur les images ERS

La parallaxe  $p$  produite par un relief d'altitude  $h$ , s'exprime de façon différente, en fonction de l'incidence  $i$ , pour une image optique :  $p = h \cdot \text{tg } i$  et une image RADAR :  $p = h \cdot \text{cotg } i$ . Dans le cas d'ERS, le choix d'une incidence de  $23^\circ$  satisfait les besoins de l'océanographie, mais conduit à exacerber les effets du relief (voir figure B.4.1.).

Ainsi, l'influence d'une méconnaissance du relief  $\Delta h$  se traduit sur l'erreur de localisation planimétrique  $\Delta p$  d'une ortho-image par :  $\Delta p = 0,6 \cdot \Delta h$  pour SPOT en visée oblique et  $\Delta p = 2,4 \cdot \Delta h$  au centre d'une image ERS. Si l'on cherche une précision équivalente, il faut un Modèle Numérique de Terrain quatre fois plus précis pour ERS que pour SPOT.

La lisibilité des images ERS est très affectée par le relief. Imaginons un paysage composé d'une crête parallèle à la trace du satellite, bordée de vallées plates. Soit  $h$  l'élévation de la crête et  $\alpha$  la pente des versants qui la bordent; la crête apparaît décalée d'une quantité  $h \cdot \text{cotg } 23^\circ$ . La largeur apparente du versant dirigé vers le satellite est :  $h \cdot (\text{cotg } \alpha - \text{cotg } 23^\circ)$ . La largeur apparente du versant opposé au satellite est :  $h \cdot (\text{cotg } \alpha + \text{cotg } 23^\circ)$ .

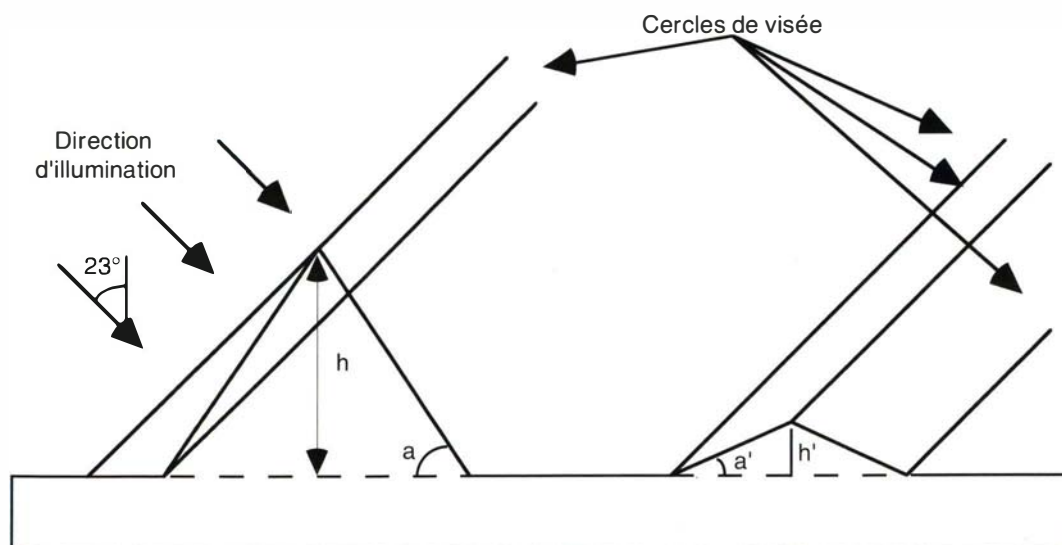


figure B.4.1.

Le cas  $\alpha < 23^\circ$  met en évidence le phénomène de compression. Le rapport des largeurs apparentes des deux versants s'exprime par la quantité  $\sin(23^\circ + \alpha) / \sin(23^\circ - \alpha)$ . Une pente de seulement  $12^\circ$  conduit à un rapport trois, suffisant pour gêner l'interprétation. Le problème serait le même pour une image optique acquise avec une incidence de  $67^\circ$ . L'alternance de courbes lumineuses et de plages sombres dans le sud de la figure B.4.2. illustre les effets de compression et de parallaxe pour une succession de sommets alignés selon une direction perpendiculaire à la trace du satellite.

Le cas  $\alpha > 23^\circ$  correspond au phénomène de recouvrement spécifique aux images RADAR. Le versant dirigé vers le satellite, masque la vallée sur une largeur  $h \cdot (\cotg 23^\circ - \cotg \alpha)$ . Les valeurs  $h = 2\,000$  m et  $\alpha = 30^\circ$  correspondent à un masque de 1,25 km qui explique l'occultation de la vallée du Rhône sur la figure B.4.2. Il faut être bien conscient que la perte d'information est irrémédiable : cette partie de la vallée est masquée aussi bien pour des orbites descendantes que montantes. Le cartographe peut s'adapter au contenu informatif de l'image mais ne peut s'accommoder d'un tel manque d'exhaustivité.

### B.4.2.3. Interprétation cartographique des images ERS

#### Identification de détails ponctuels

Notre logiciel de recalage combine interactivement mesure et modélisation. Le modèle courant, utilisé en prédicteur, permet de localiser sur l'image (à quelques pixels près) un détail désigné au préalable sur la carte. Les seuls détails ponctuels bien identifiables sont soit des ponts, soit des points caractéristiques sur des limites de plans d'eau, soit des carrefours importants et "bien orientés". Pour des détails de nature différente tels que constructions isolées, barres rocheuses, mais aussi la plupart des carrefours routiers, le prédicteur s'avère souvent indispensable.

#### Filtrage du speckle : une aide à l'interprétation

L'impression dominante ressentie par nos photo-interprètes, confrontés aux images ERS, est la gêne liée au speckle. Fin 1992, nous avons donc fait réaliser par l'équipe de traitement d'images du CESR plusieurs essais de filtrage sur une ortho-image de la région de Fréjus (Var, France) réalisée par ISTAR. Ces filtres, basés sur des modélisations statistiques du speckle, ont pour finalité le calcul du coefficient de rétrodiffusion. Ils privilégient la thématique surfacique au détriment des éléments linéaires. Les filtrages par la médiane et par la moyenne ne sont pas non plus satisfaisants ; en revanche d'autres filtres empiriques s'avèrent performants pour l'aide à la photo-interprétation à but cartographique.

Le meilleur résultat obtenu est illustré par la figure B.4.3. qui compare une image de Kiev (Ukraine) avant et après application d'un filtre simple, basé sur une moyenne pondérée en fonction de l'écart entre la radiométrie de l'environnement et celle du pixel central.

#### Potentiel cartographique comparés de ERS et SPOT

Nous nous sommes beaucoup attachés à analyser le potentiel cartographique des images RADAR. Une première étude a été menée en coopération avec ISTAR et SPOT Image dans le cadre du programme AVAL SAR du CNES sur la région de Fréjus. La figure B.4.4 présente un montage d'une ortho-image ERS (rééchantillonnage à 20 m d'une image deux vues) et d'une ortho-image SPOT-XS2, réalisées par ISTAR, et de la carte au 1 : 50 000, sur une zone de 8 km x 3,5 km.

Ces figures démontrent avec éloquence la supériorité cartographique de SPOT :

- l'urbain dense, bien visible sur les deux images, est toutefois mieux appréhendé sur SPOT,
- l'autoroute, le réseau routier principal et le cours de l'Argens, bien visibles sur SPOT, sont intermittents sur ERS,
- l'urbain peu dense et le réseau routier secondaire, partiellement discernables sur SPOT, sont invisibles sur ERS,
- la voie ferrée aurait été visible sur ERS, si elle avait été parallèle à la trace du satellite ...
- l'état de surface des plans d'eau et de la mer nuit à l'identification de leurs limites.

Toutefois, on remarque sur ces images qu'un relief modéré est mieux appréhendé sur ERS.

Cette première expérience est bien sûr un peu décevante. Mais les études menées depuis lors ont donné de meilleurs résultats :

- les zones industrielles et les objets métalliques apparaissent en brillant sur ERS, alors qu'ils ne sont pas particulièrement discernables sur SPOT,
- dans un paysage désertique, on peut voir sur l'image RADAR des pistes ou conduites enterrées dans le sable, et donc invisibles sur SPOT,
- des hauts-fonds ont pu être distingués dans le fleuve sur une image RADAR de Kiev; cette image a permis d'ailleurs la réalisation de notre première spatiocarte RADAR,

- dans le cadre du programme CNES AVAL-SAR, une étude menée en coopération avec ISTAR et SPOT-IMAGE nous a permis de comparer des images SPOT et ERS de la Guyane. Le couvert nuageux limite grandement le potentiel cartographique de SPOT sur cette zone. En revanche, l'image RADAR fait apparaître les éléments les plus caractéristiques : le réseau hydrographique, le relief, la forêt dense, et l'image multitemporelle nous révèle les zones cultivées,

- une étude menée actuellement en coopération avec SCOT-Conseil sur deux images RADAR de la Camargue permettra de mesurer l'évolution des inondations entre le 16 octobre et le 1er novembre 1993.

## Conclusion

La bonne maîtrise de la géométrie d'ERS et l'intégration des algorithmes dans un environnement opérationnel permettent à IGN-Espace de compléter et diversifier son offre.

Malgré ses limites, ERS devrait trouver sa place sur le marché de la cartographie spatiale, soit comme alternative à SPOT dans les zones à fort couvert nuageux, soit en complément à SPOT par exemple dans le cadre des projets de suivi de l'occupation du sol.

### B.4.3. Prolongements envisagés

- Consolider les résultats obtenus en matière de filtrage.
- Maîtriser le traitement géométrique de blocs d'images ERS, chiffrer l'amélioration apportée par les orbites ERS fournies a posteriori indépendamment des images.
- Dans le cadre du Groupe Accès Tous Temps animé par le CNES, évaluer l'intérêt cartographique des capteurs futurs : meilleure résolution qu'ERS (photo-interprétation d'images de RADAR aéroportées et mission SIR-C).
- Enfin l'effort essentiel de l'année 1994 concerne les techniques d'extraction de l'information altimétrique : radargrammétrie (adaptation du corrélateur DAUPHIN, restitution visuelle grâce au logiciel SMART installé sur KERN en 1993) et interférométrie (en coopération avec le CNES, poursuite des travaux entamés par Sylvia PHILIPPE en 1993 lors de son stage de DEA).

## Références

[PHILIPPE] Sylvia Philippe : *Modélisation des Images RADAR ERS*, IGN-Espace, stage de 2ème année d'ingénieur à l'ENSG, 1992.

[GIGORD] Patrick Gigord : *Utilisation Cartographique des Images ERS*, 10-13 mai 1993, colloque SPOT/ERS : De l'Optique au RADAR.

[PHILIPPE] Sylvia Philippe : *Etude de validation de MNT par Interférométrie RADAR*, IGN, ENSG, stage de DEA, Méthodes Physiques en Télédétection au CNES, 1993.



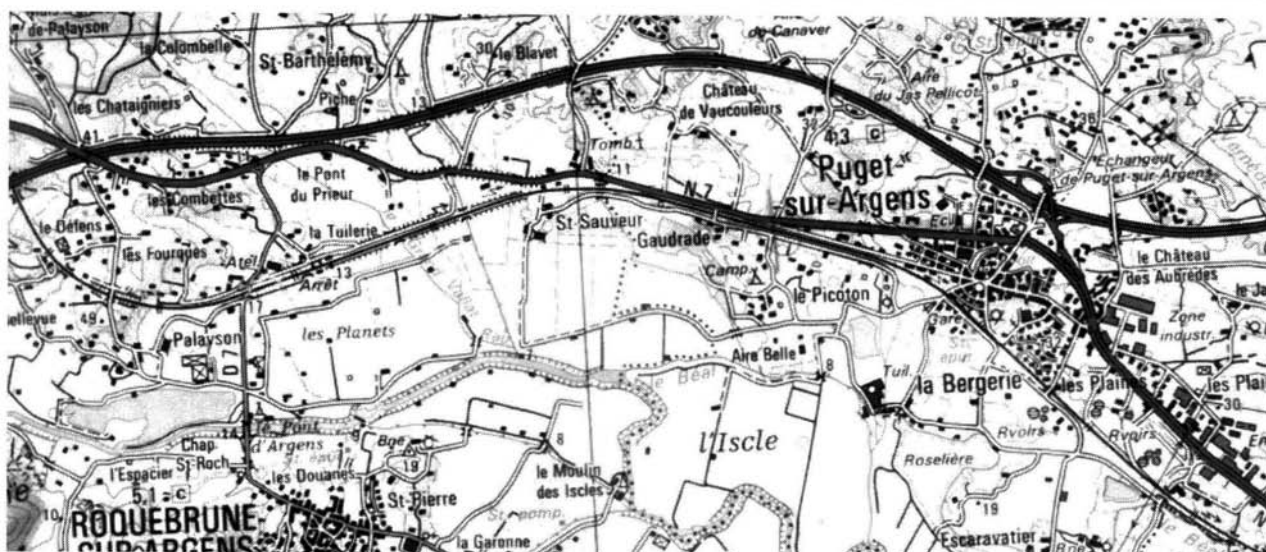
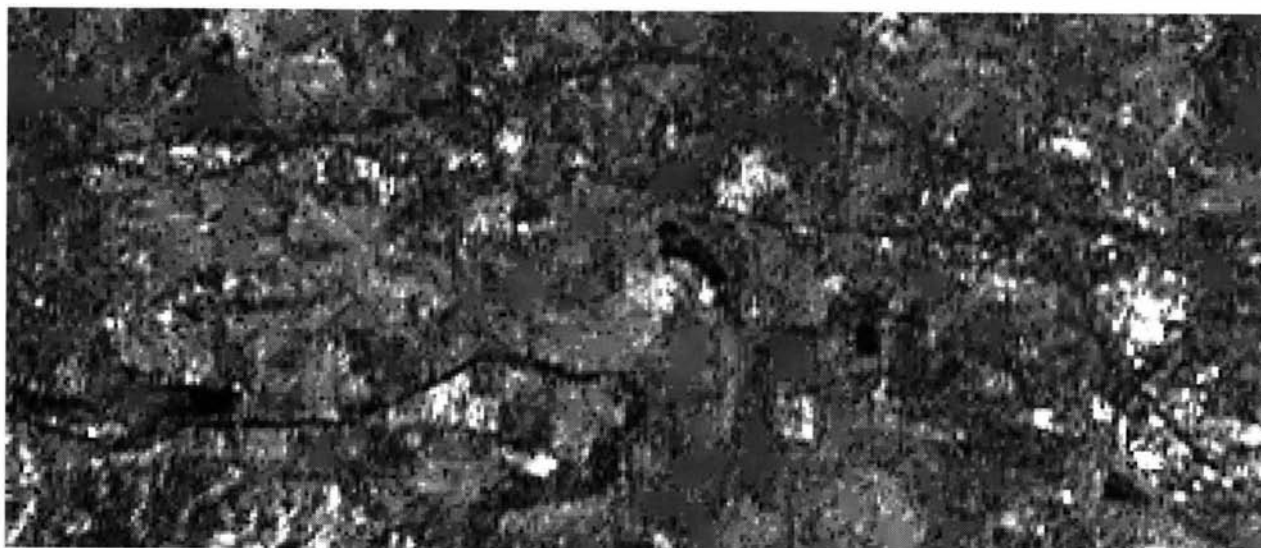
**figure B.4.2.** : influence du relief sur les images ERS.

Zone de 10 km x 14 km des environs de Martigny (Suisse), extraite d'un image ERS-1 SAR du 01.10.1991 © ESA. L'autoroute et le Rhône sont bien visibles à l'est de la ville et complètement masqués par le recouvrement au nord. La ligne de crête au sud est affectée par la compression.



**figure B.4.3.** : filtrage du speckle sur une image ERS.

Zone de 8 km x 5,2 km de la région de Kiev (Ukraine), extraite d'une image ERS-1 SAR de juin 1993 © ESA, rectifiée à 20 m. Le filtre adaptatif utilisé préserve de façon satisfaisante les détails linéaires et facilite l'interprétation (voir image du bas).



**figure B.4.4.** : comparaison du potentiel cartographique des images ERS et SPOT.

Zone de 7 km x 3 km à l'ouest de Fréjus (Var, France), extraite d'images ERS-1 SAR de septembre 1991 © ESA et SPOT-1 HRV-2 XS-2 du 24.09.1991 © CNES et de la carte 1 : 50 000 © IGN.





## B.5. Placement automatique des écritures avec une qualité cartographique

par François LECORDIX et Corinne PLAZANET

*Cherchant à minimiser le temps de réalisation des cartes à partir des bases de données, les recherches concernant le placement automatique des écritures ont débuté en 1992 au COGIT du fait de l'unique présence sur le marché d'outils interactifs qui ne fournissent pas une solution satisfaisante à long terme. En 1993, les recherches dans ce domaine se sont poursuivies suivant deux axes : d'une part, poursuite des essais concernant les écritures horizontales sur une nouvelle échelle 1 : 25 000; d'autre part, première expérience sur les noms à disposition : les numéros de routes.*

### B.5.1. Ecritures horizontales

Sans trop détailler, précisons d'abord les principes de ce positionnement automatique qui se décompose en trois étapes principales :

**a** - Initialisation des données : détermination des abréviations nécessaires suivant les règles toponymiques (par exemple transformation de Saint en St), détermination de la césure éventuelle, calcul des rectangles d'emprise des écritures en fonction des polices utilisées. Cette phase est très spécifique à la base de données que l'on traite et à la carte que l'on souhaite réaliser.

**b** - Détermination d'une liste de positions possibles pour chaque écriture indépendamment des autres écritures et quantification de la qualité de chaque position en fonction des éléments du fond de carte écrasés, des positions privilégiées, des distances entre écritures et objets renseignés.

**c** - Stratégie de placement : choix de la meilleure position pour une écriture en fonction des positions choisies pour les autres écritures.

Le but de la recherche de l'année 1993 consistait à examiner si les principes mis en oeuvre en 1992 étaient applicables, à partir des données de la BDTopo, pour les différentes écritures horizontales composant une carte au 1 : 25 000 : toponymes (lieux-dits habités et non habités), détails orographiques ou hydrographiques, désignations de bâtiments remarquables, points cotés. Pour atteindre cet objectif, le logiciel de placement automatique a été mis au propre et enrichi. Les améliorations ont concerné les trois phases du placement :

- la phase d'initialisation a été adaptée aux données de la BDTopo (nouvelles règles de césure...). De plus, les toponymes de lieux-dits habités n'étant rattachés aux objets (ensemble de maisons) qu'ils renseignent que par un point (situé "au centre" de cet ensemble de maisons), il a été nécessaire de développer des procédures permettant de créer automatiquement des enveloppes aux bâtiments, qui servent ensuite d'appui pour le placement des toponymes,

- la phase de détermination de positions possibles et de quantification de ces positions a été enrichie : détermination de positions possibles pour des écritures d'objets ponctuels, notion d'ambiguïtés sélectives suivant les différentes polices, prise en compte d'éléments de la carte non écrasables par des écritures. De plus pour améliorer la quantification de la qualité de chaque position, la rédaction de la carte, nécessaire à ce travail, est désormais réalisée par le système de rédaction dont dispose l'IGN, à savoir MERCATOR de BARCO GRAPHICS,

- la phase de stratégie de placement a été enrichie d'une méthode par recuit simulé. Jusqu'alors, on disposait uniquement de méthodes séquentielles. Celles-ci ne fournissent pas la meilleure solution au problème. Par une démarche heuristique, elles doivent réaliser un compromis entre le choix de la meilleure position intrinsèque d'une écriture et le choix minimisant les problèmes de blocage ultérieur entre positions. En fait, cette démarche ne permet pas d'avoir une vision globale du problème mais cherche à résoudre itérativement chaque cas successif. La stratégie par recuit simulé permet de mieux résoudre le problème du choix de la meilleure position en tenant compte des autres écritures (qui ne doivent pas se chevaucher) car elle traite globalement le problème. Elle permet de résoudre le problème d'optimisation mathématique, qui traduit le non recouvrement, par une méthode statistique. Elle s'avère d'autant plus utile que la densité toponymique de la carte est forte.

Les résultats obtenus sur un extrait de la carte de Montpellier sont bons : le placement est satisfaisant pour 90% des écritures horizontales de la carte (ces écritures horizontales constituant 99% des écritures de la carte en mettant à part les noms de routes et de rivières). Les 10% restants d'écritures peuvent être corrigés interactivement. Un deuxième essai a été mené sur une carte complète, la TOP25 du Ventoux. Cette carte comporte 2950 points cotés et 1480 toponymes et désignations de bâtiments remarquables.

La réalisation de la planche complète s'est faite en :

- 16 heures pour le placement interactif des écritures à disposition de surface,
- 1 heure pour le placement automatique des écritures horizontales sur une station DEC Alpha,
- 12 heures pour les corrections interactives de ces positionnements,
- 12 heures pour le placement interactif des noms à disposition sur des objets linéaires (routes et hydrographie).

Au total, la planche d'écritures est ainsi réalisée en une quarantaine d'heures. Cette valeur est à comparer aux 150 heures qui ont été nécessaires pour réaliser en manuel la planche d'écritures de la carte de Montpellier qui comprenait un peu moins d'écritures et à la centaine d'heures vraisemblablement nécessaires pour réaliser la planche du Ventoux entièrement en interactif. Précisons aussi que, ultérieurement, le positionnement des autres écritures pourra aussi être traité automatiquement avec cette même qualité cartographique, réduisant encore la part d'interactif.

Enfin l'IGN a entrepris les premières démarches en vue d'une industrialisation des modules de placement des écritures. En cas d'accord, cette première partie de la recherche sur le placement automatique des écritures débouchera sur un logiciel permettant de traiter, sur un poste intégré, le placement automatique et le placement interactif (afin de réaliser entièrement en mode numérique les planches d'écritures des cartes).

### **B.5.2. Numéros de routes**

Au cours d'un stage de DEA de quatre mois, Mathieu BARRAULT a étudié le placement automatique des numéros de route sur une carte au 1 : 1 000 000. La démarche retenue s'approche de celle choisie pour les écritures horizontales, à savoir détermination de positions possibles et quantification de la qualité de ces positions indépendamment des autres numéros de routes, choix d'une position en tenant compte des autres choix.

Pour réaliser le placement automatique, les traitements sont les suivants : soit une route, constituée par un ensemble d'arcs d'un graphe, adjacents deux à deux et ayant le même numéro. Cette route est décomposée en tronçons, ensembles d'arcs adjacents deux à deux dont le lecteur de la carte devine sans ambiguïté qu'ils appartiennent à la même route. Pour chaque tronçon, on détermine des positions possibles pour le nom en :

- linéarisant le tronçon sous forme de segments de droites pour placer le nom sur la direction générale de la route,
- retenant uniquement les segments suffisamment longs pour contenir le numéro de route,
- choisissant des positions décalées au-dessus et en dessous de ces segments.

La qualité de chacune de ces positions est quantifiée en fonction du :

- poids de distance qui traduit l'éloignement du nom par rapport à la route,
- poids d'orientation qui traduit l'horizontalité du nom,
- poids de mutilation qui traduit la gravité de l'écrasement des éléments du fond de carte par le nom,
- poids de distance globale qui traduit la rectitude de la portion de route testée et le centrage du segment issu de la linéarisation par rapport au tronçon,
- poids de distance locale qui traduit le centrage du nom par rapport à des éléments cartographiques qui coupent le tronçon.

Chaque position étant quantifiée, le logiciel place, pour chaque route, un numéro sur le premier et le dernier tronçons nommables de la route, et, si la route est très longue, ce numéro est répété sur des tronçons intermédiaires.

Les résultats obtenus sur un essai unique au 1 : 1 000 000 ont été examinés par un cartographe. Sur les 514 noms approximativement à placer (il n'y a pas comme pour les toponymes horizontaux une bijection entre le nombre d'objets à nommer et le nombre de noms), 90% sont positionnés de manière satisfaisante.

### **B.5.3. Prolongements envisagés en 1994**

Pour les numéros de routes, la démarche utilisée pour les écritures horizontales sera reprise, à savoir : reprise au propre et amélioration du programme, test sur une autre échelle (1 : 25 000 ou 1 : 100 000), industrialisation.

De plus, lors de sa thèse débutée en novembre 1993, Mathieu BARRAULT étudiera successivement différents types d'écritures : noms à disposition hydrographiques, noms de rues (pour des plans de ville), noms à disposition surfaciques. Un stage est prévu aussi pour traiter le problème des kilométrages.

## B.6. GéO<sub>2</sub> : Module de Superposition

par Guylaine SCHORTER et Laurent RAYNAL

### Introduction

Toute analyse consiste à combiner des informations associées à des thèmes différents (thème hydrographique, thème administratif) pour en déduire une information plus élaborée. Transposé dans le domaine géographique, cela revient à superposer des cartes les unes sur les autres, à apposer de façon répétée des calques les uns sur les autres. Cette opération de superposition de cartes est donc essentielle pour toute démarche d'analyse spatiale.

Un module de superposition a été élaboré au laboratoire COGIT de l'IGN pour répondre à ce besoin. Le système GéO<sub>2</sub> a constitué le cadre de ce travail. Brièvement, rappelons que GéO<sub>2</sub> est une extension d'un SGBD Orienté-Objet pour la manipulation d'information géographique.

### B.6.1. Problématique

Un des buts du module de superposition de cartes, pour les anglophones *map overlay*, est de réaliser l'intersection géométrique des éléments de plusieurs cartes (appelées "couches" dans GéO<sub>2</sub>) et de reconstituer la couche résultat, à l'image d'une superposition de deux calques. Une fois que les éléments des couches sont superposés, il faut leur associer les données factuelles à partir des caractéristiques alphanumériques initiales des éléments de chaque couche.

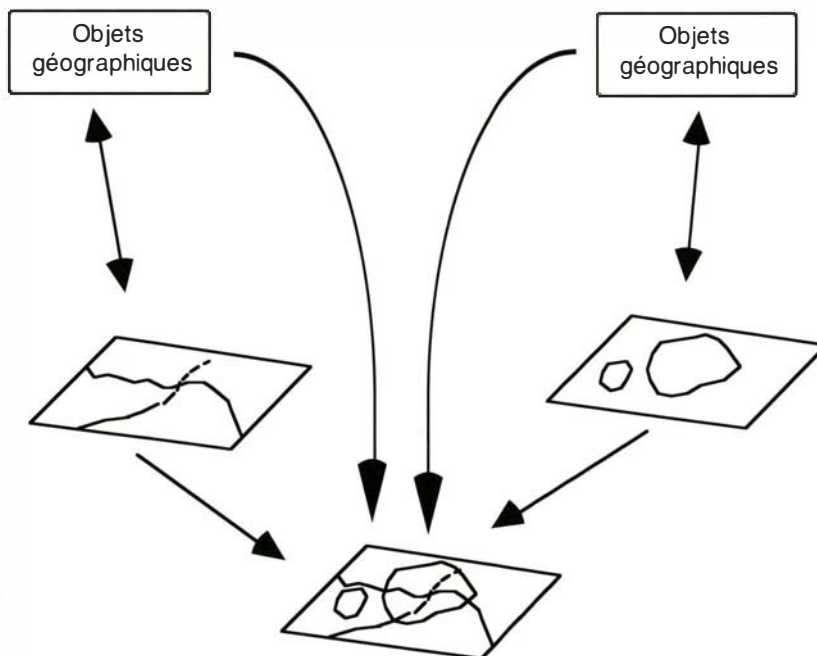
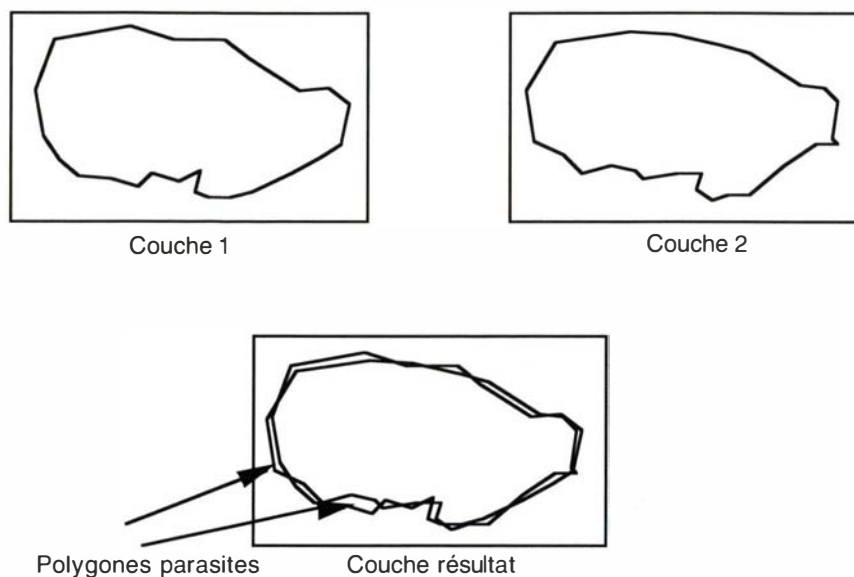


figure B.6.1. : principe général de la superposition

Mais, outre le regroupement brut d'information spatiale, la superposition de cartes se doit surtout de respecter l'hétérogénéité de précision géométrique entre les différentes sources d'informations. Ces imprécisions inhérentes aux différents processus de production des données géographiques se concrétisent dans la superposition par l'apparition de "polygones parasites" ; ils représentent les écarts positionnels entre les couches initiales. Dans la figure B.6.2., les polygones des couches initiales sont censés représenter une même entité dans la réalité du terrain.

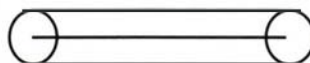


*figure B.6.2. : polygone parasite*

## B.6.2. Processus de superposition

Pour éliminer dans la couche résultante les polygones parasites, nous introduisons une notion de tolérance afin de déterminer les arêtes susceptibles d'être regroupées.

Les arêtes des couches initiales participant à la superposition sont décomposées en segments. A chaque point extrême du segment est fixé un seuil d'incertitude appelé "tolérance" représentant l'espace dans lequel l'objet peut se situer. A chaque segment est donc associé une "bande de tolérance", déduite de celle de ses points extrémités (figure B.6.3.), représentant théoriquement l'espace dans les limites duquel se positionne la ligne du terrain "réel".



*figure B.6.3. : notion de tolérance d'un segment*

Bien qu'il soit possible d'attribuer une tolérance différente à chaque point extrême d'un segment, le module de superposition se contente, dans un premier temps, d'attribuer une tolérance unique pour tous les points. Ainsi, grâce à la notion de tolérance, les objets spatiaux sont déplacés dans la limite de leur bande de tolérance pour éviter la création de polygones parasites lors de la superposition des couches.

La méthode de déplacement des objets spatiaux selon leur tolérance est appelée "méthode de regroupement". Elle comporte deux phases [NGUYEN 94] :

- la première phase consiste à détecter les objets candidats au regroupement à travers leur distance réciproque,
- ensuite, les objets candidats détectés lors de l'étape précédente sont regroupés et déplacés.

Cependant, la répétition des opérations de regroupement des points extrémités et de rupture des segments introduit notamment des perturbations pouvant déplacer un objet au delà de sa tolérance provoquant ainsi des données topologiques incohérentes par rapport aux données initiales.

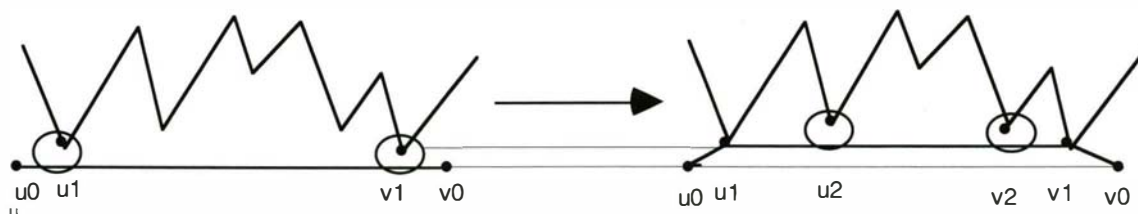


figure B.6.4. : regroupement en cascade des segments

Afin d'éviter de tels cas dégénérés, PULLAR [PULLAR 91] propose une méthode dite "map accomodation". Cette méthode a été implantée dans GÉO<sub>2</sub> pour le module de superposition et est détaillée dans [JOSSE 92].

### B.6.3. Résultats

Des tests ont été effectués à la fois sur de petits jeux de données et sur des données venant de la BDCarto. La superposition qui a été entreprise entre les thèmes *limites administratives* et *réseaux routiers et ferrés* de la BDCarto a mis en évidence deux principaux facteurs bloquants (le lot de données traité correspond à quatre feuilles au 1: 50 000 au sud de Bordeaux). Aussi, ce module de superposition ne peut pas être considéré comme fini à l'heure actuelle.

Le premier facteur provient de la distribution hétérogène des données dans une couche. Dès lors, affecter une même tolérance à une couche en globalité induit des erreurs grossières. Si on choisit une tolérance relativement petite, des tronçons de route et des limites administratives ne sont pas regroupés. A contrario, si on choisit une tolérance relativement grande, des tronçons de route sont réduits à un point. Il paraît donc absolument nécessaire de gérer la tolérance pour chaque objet pour mener à bien une superposition.

Le second se facteur revêt d'une importance plus grande car il remet en cause des hypothèses de départ. Il provient de la dualité réel/entier existant tout au long de la superposition. Ainsi, la méthode de regroupement prend l'espace des réels comme référence (mesure de distance, tolérance calculée en réel) alors que toutes les données sont en coordonnées entières (la précision des données à l'échelle de la Terre nous permet de rester en entier et d'éviter une utilisation abusive des décimales). Aussi le passage d'un espace infini à un espace discret entraîne des incohérences sur le calcul de distances. Par exemple, lorsque plusieurs points sont regroupés, les coordonnées du point résultant sont arrondies à l'entier le plus proche.

### Conclusion

Afin de remédier aux problèmes évoqués auparavant, il est envisagé en 1994 de résoudre le problème venant de l'hétérogénéité de distribution des données en associant une tolérance par objet et en faisant varier cette tolérance tout au long du regroupement.

Puis il est envisagé, dans une action de recherche, de définir un modèle de localisation qui doit faire intervenir pour chaque primitive géométrique une probabilité de présence autour d'une position moyenne, probabilité qui ne se limiterait plus forcément à une distribution uniforme sur un disque. L'information métrique est alors enrichie par des paramètres plus élaborés que les simples coordonnées de points. Il conviendra donc de définir de nouvelles distances tenant compte de ces paramètres, pour pouvoir comparer les nouvelles primitives entre elles. Ceci rendra possible la mise en correspondance d'objets identiques mais issus de sources différentes.

### Références

[JOSSE 92] Bruno Josse : *Superposition d'informations géographiques. Implémentation dans le SGBD Orienté Objet O<sub>2</sub>*, préparation, mémoire ingénieur CNAM, 1992.

[PULLAR 91] P. Pullar : *Spatial overlay with inexact numerical data*, Auto-Carto 10, technical paper, ACSM ASPRS, Annual convention, vol. 6, 1991.

[NGUYEN 94] Tahn-Tuyen Nguyen : *Intégration et extension d'un modèle de superposition dans un SGBD Orienté Objet*, mémoire ingénieur CNAM, janvier 1994.



## B.7. Le système DORIS : résultats récents de la mission océanographique TOPEX/POSEÏDON

par Pascal WILLIS

### B.7.1. La mission océanographique TOPEX/POSEÏDON

La plus grande partie de notre planète est couverte d'océans. Mieux connaître notre environnement, c'est d'abord mieux connaître les océans. La surface des océans est difficile à modéliser car elle évolue dans le temps en fonction de multiples facteurs naturels. Tout le monde connaît le phénomène de marées océaniques. D'autres phénomènes comme les vents ou les conditions atmosphériques influent notablement sur la surface des océans. En moyennant dans le temps l'ensemble de ces effets perturbateurs, la surface moyenne se rapprocherait d'une surface équipotentielle (le géoïde), indiquant ainsi par exemple, la présence de chaînes montagneuses sous-marines. Les courants eux-mêmes, tel le *Gulf-Stream*, sont aussi capables de modifier significativement un très grand nombre de phénomènes géophysiques et océanographiques.

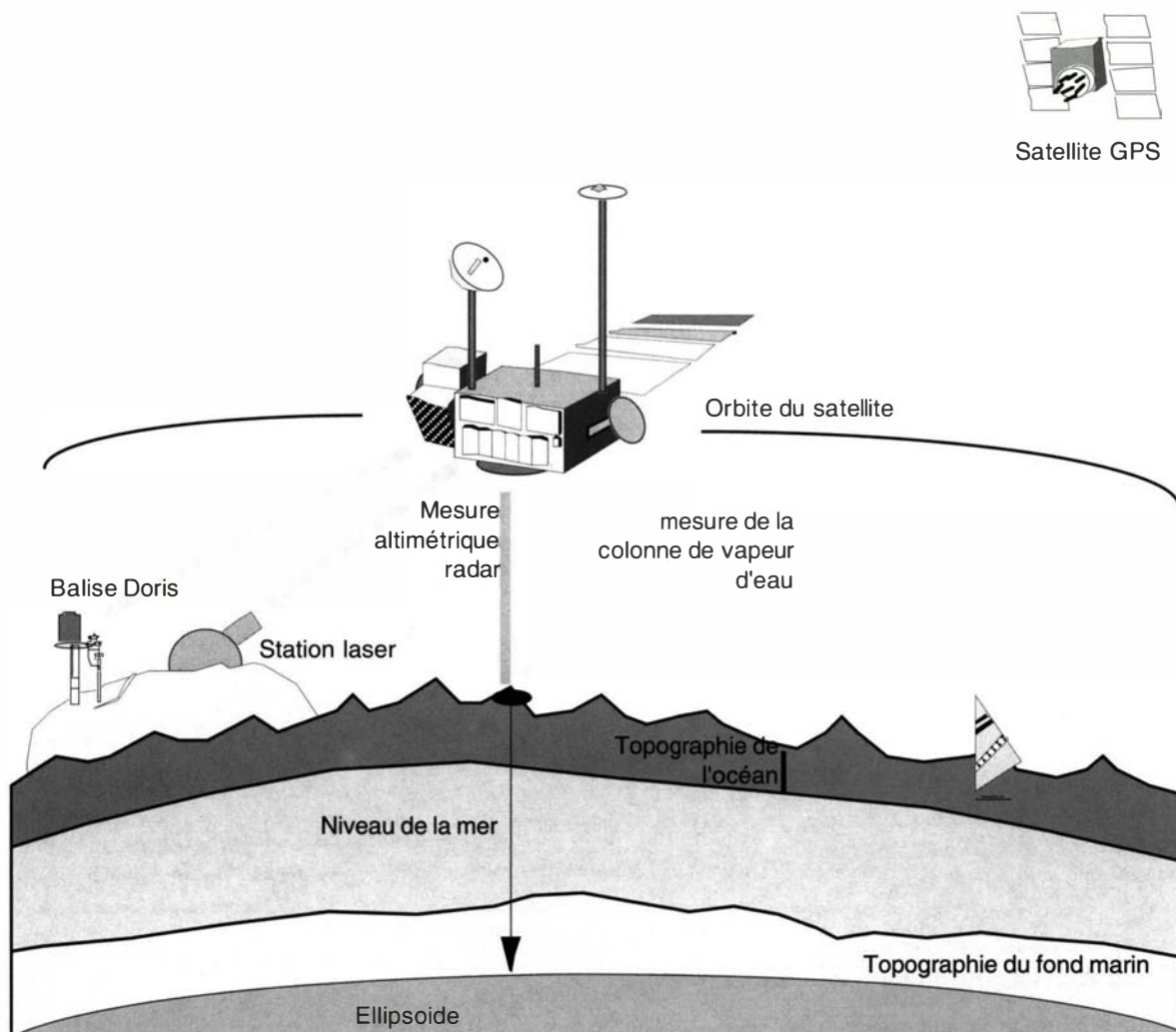


figure B.7.1 : le système de mesure TOPEX-POSEÏDON



Dans ce but, un projet franco-américain, appelé TOPEX/POSEÏDON (figure B.7.1.), a débuté en août 1992 avec le lancement d'un satellite océanographique possédant à bord deux altimètres RADAR. Ces instruments sont capables de mesurer à une précision de quelques centimètres la distance verticale entre le satellite et la surface instantanée des océans. Afin de permettre aux océanographes d'interpréter ces mesures, il convient donc de déterminer le plus précisément possible la position du satellite. Dans ce but, trois systèmes d'orbitographie précise ont aussi été embarqués sur le satellite : DORIS, SLR et GPS. C'est donc une occasion unique qui s'offre dans l'histoire de la géodésie spatiale de comparer ces différentes techniques dans le but de métrologie.

## B.7.2. Le système DORIS

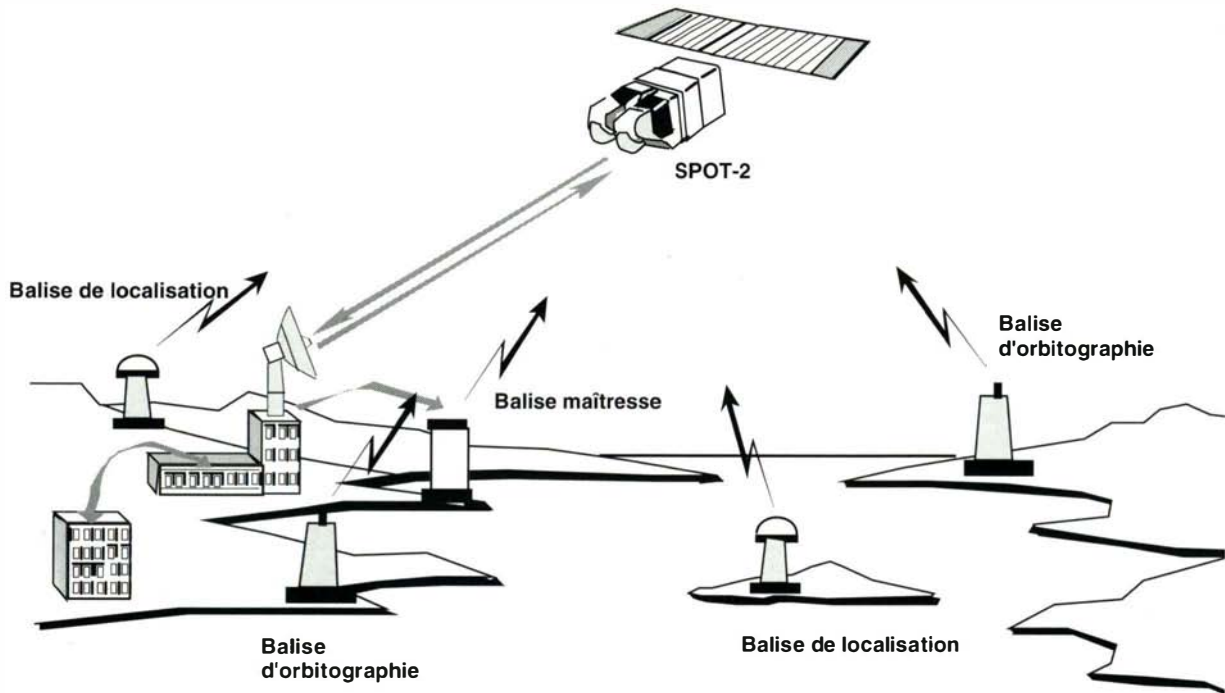


figure B.7.2 : le système DORIS

Le système DORIS est un système français, initié par le CNES pour l'orbitographie de satellite bas. Un réseau permanent d'environ 50 balises DORIS installés par l'IGN, assure une poursuite quasi continue des satellites du système. Ces balises (figure B.7.2.) émettent deux ondes radioélectriques ultra stables, qui sont reçues par un récepteur spécialisé embarqué à bord du satellite. Ce récepteur effectue des mesures DOPPLER qui fournissent une information très précise sur la vitesse radiale du satellite aux balises au sol.

Trois satellites possèdent actuellement ce genre de récepteur DORIS : le satellite de télédétection SPOT-2, lancé en janvier 1990, le satellite d'océanographie TOPEX, lancé en août 1992, et enfin le satellite SPOT-3, lancé en septembre 1993.

## B.7.3. Analyse des données DORIS de la mission TOPEX/POSEÏDON

Plusieurs groupes dans le monde travaillent sur l'orbitographie précise du satellite TOPEX (CNES, NASA, JPL...). Une collaboration étroite s'est instaurée entre l'IGN et le JPL aux Etats-Unis afin d'intercomparer plus spécifiquement les systèmes GPS et DORIS. Le logiciel GIPSY/OASIS II du JPL a été amélioré afin de pouvoir traiter des mesures DORIS (en plus des mesures GPS). Cette présentation regroupe les résultats obtenus à l'IGN en utilisant ce logiciel de recherche.

### B.7.3.1. L'orbitographie précise du satellite

Environ un an de données DORIS de la mission TOPEX/POSEÏDON ont été traitées à l'IGN en utilisant le logiciel GIPSY/OASIS II du JPL pour déterminer l'orbite du satellite. L'expérience a montré qu'il était possible de déterminer l'orbite du satellite à des précisions de l'ordre de deux cm pour la composante radiale du satellite (la seule qui soit vraiment critique pour les océanographes). Des répétabilité de 1,6 cm ont été observées en interne, alors que des comparaisons avec d'autres orbites précises montraient des écarts inférieurs à trois cm.

### B.7.3.2. La localisation précise des balises DORIS au sol

En utilisant les mêmes données DORIS, il est possible de faire des calculs plus compliqués, dans lesquels on estime simultanément l'orbite du satellite, mais aussi la position des stations de poursuite au sol. De la même manière, plusieurs mois de données DORIS TOPEX/POSEÏDON ont été traitées jour par jour. Ces solutions journalières ont été combinées pour obtenir des solutions mensuelles ou plurimensuelles. En un jour, chaque balise DORIS ne possède qu'un faible nombre de passages du satellite TOPEX en visibilité. Il est donc intéressant de cumuler plusieurs jours de mesures afin d'améliorer la qualité des résultats de positionnement.

Ces résultats ont été analysés à l'IGN et comparés avec d'autres solutions DORIS provenant de différents groupes dans le monde (GRGS/Toulouse (F), Université du Texas (USA) ...) et ont montré une exactitude de l'ordre de cinq centimètres pour des solutions mensuelles et de l'ordre de deux centimètres pour une solution de cinq mois. Ces résultats sont importants, car ils montrent que le système français DORIS permet désormais d'obtenir des résultats proches de ceux des meilleures techniques actuelles de géodésie spatiale comme le VLBI, la télémétrie LASER ou le GPS.

### B.7.3.3. La rotation terrestre

Les mesures DORIS, comme la plupart des mesures de géodésie spatiale, dépendent de la distance entre un point au sol (la balise DORIS à l'instant d'émission du signal) et un point dans l'espace (le satellite à l'instant de réception). Entre ces deux instants, la Terre a tourné dans le repère inertiel et cette distance est donc sensible à la rotation terrestre. Les mesures de géodésie spatiale permettent ainsi d'estimer la vitesse de rotation terrestre ainsi que l'intersection entre l'axe instantané de rotation et la croûte terrestre (position du pôle de rotation terrestre).

Trois mois de données DORIS du satellite TOPEX ont été utilisés pour estimer jour par jour la position du pôle terrestre. Ces résultats ont été expertisés par le Bureau Central de l'IERS à l'Observatoire de Paris en les comparant à des solutions issues des techniques spatiales les plus précises (VLBI, SRL, GPS). Un accord a été mis en évidence au niveau des deux mas (ce qui correspond environ à cinq cm sur la croûte terrestre au pôle).

## B.7.4. Perspectives d'avenir

La mission TOPEX/POSEÏDON a été une réussite scientifique importante en 1993 pour les océanographes. De nombreuses études sont en cours afin d'interpréter au mieux les données altimétriques et d'améliorer ainsi notre connaissance sur le niveau des océans et ses variations temporelles. Cette interprétation scientifique essentielle nécessite la détermination de l'orbite du satellite à un niveau de précision qui n'avait encore jamais été égalé dans le passé.

Plusieurs améliorations sont d'ores et déjà envisagées. Elles reposent principalement sur l'amélioration des modèles de corrections des mesures DORIS ou sur de nouveaux types de calculs combinés (mesures DORIS et GPS utilisées simultanément pour l'orbitographie de TOPEX ou mesures DORIS effectuées par plusieurs satellites).

On peut donc espérer que dans l'avenir, grâce à des systèmes d'orbitographie précise, comme le système DORIS, l'erreur d'orbite ne soit plus le facteur limitant pour l'océanographie satellitaire.

## Remerciements

Le travail présenté ici repose sur une large collaboration en France et aux Etats-Unis. Sans pouvoir remercier tous les participants, nous souhaiterions le faire plus particulièrement pour W. BERTIGER, R. MUELLERSCHOEN, Y. BAR-SEVER et B. HAINES du JPL.

Le séjour de Pascal WILLIS au JPL a été cofinancé par l'Institut Géographique National, le Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale et le Programme de Télédétection Spatiale.

## Références

[BERTIGER et al] W. Bertiger, SC. Wu, T. Yunck, R. Muellerschoen, P. Willis, Y. Bar-Sever, A. Davis, B. Haines, T. Munson, S. Lichten & R. Sunseri : *Early results from the TOPEX/POSEÏDON GPS precise orbit determination demonstration*, AAS/AIAA Spaceflight Mechanics Meeting, Pasadena (USA), février 1993.

[BERTIGER et al] W. Bertiger, YE. Bar-Sever, EJ. Christensen, ES. Davis, JR. Guinn, BJ. Haines, RW. Ibanez-Meier, JR. Jee, SM. Lichten, WG. Melbourne, RJ. Muellerschoen, TN. Munson, Y. Vigue, SC. Wu, TP. Yunck, BE. Schutz, PAM. Abusali, HJ. Rim, NM. Watkins & P. Willis : *GPS Precise Tracking of TOPEX/POSEÏDON : Results and Implications*, Journ. Of Geophys. Res., TOPEX/POSEÏDON, Special Issue, novembre 1993.

[BOUCHER, DUFOUR] C. Boucher & JP. Dufour : *Etude de la qualité du positionnement DORIS par intercomparaisons et combinaisons globales*, Journée Localisation DORIS du CNES, Toulouse (F), IGN CC/G n° 585, juin 1993.

[CAZENAVE et al] A. Cazenave, JJ. Valette & C. Boucher : *Positioning results with DORIS on SPOT-2 after a first year of mission*, J. Geophys. Res., 97, 7109-7119, 1992.

- [MELBOURNE et al] WG. Melbourne, B. Tapley & T. Yunck : *The GPS flight experiment on TOPEX/POSEIDON*, Geophys., Res. Lett., 1993.
- [NOUEL et al] F. Nouel, JP. Berthias, M. Deleuze, A. Guitard, P. Laudet, A. Piuze, D. Pradines, C. Valorge, C. Dejoie, MF. Susini & D. Taburiau : *Precise CNES orbits for TOPEX/POSEIDON*, submitted to Journ. Of Geophys. Res. TOPEX/POSEIDON Special Issue, November, 1993.
- [SOUDARIN, CAZENAVE] L. Soudarin & A. Cazenave : *Global Geodesy using DORIS data*, Geophys. Res. Lett., 1992.
- [WATKINS et al] M. Watkins, JC. Ries & GW. Davis : *Absolute positioning using DORIS tracking of SPOT-2 satellite*, Geophys., Res. Lett., 19,2039-2042, 1992.
- [WILLIS et al] P. Willis, C. Boucher & JP. Dufour : *Intercomparisons GPS et DORIS*, dans le cadre de la mission océanographique TOPEX/POSEIDON, résultats préliminaires, Journée de la Recherche de l'IGN, IGN CC/G n° 586, mars 1993.
- [WILLIS, BERTIGER] P. Willis & W. Bertiger : *Recent DORIS data processing results using the GIPSY-OASIS II software*, JPL Interoffice Memorandum, 335.8-93-005, April 1993.
- [WILLIS et al] P. Willis, W. Bertiger, B. Haines, R. Muellerschoen, T. Yunck, C. Boucher, JP. Dufour & H. Fagard : *Processing DORIS data with the GIPSY/OASIS II software for Precise Point Positioning and Orbit Determination : First results and Intercomparisons*, XXth IAG General Meeting, Beijing (China), août 1993.
- [WILLIS, BERTIGER] P. Willis & W. Bertiger : *Processing DORIS data with the GIPSY/OASIS II software, recent results for point positioning and orbit determination*, Institute of Navigation, National Technical Meeting, Navigating the Earth and Beyond, San Diego (USA), janvier 1994.
- [YUNCK et al] T. Yunck, W. Bertiger, SC. Wu, Y. Bar-Seyer, EJ. Christiansen, B. Haines, SM. Lichten, RJ. Muellerschoen, Y. Vigue & P. Willis : *First Assessment of GPS-Based reduced dynamic orbit determination on TOPEX/POSEIDON*, Geophys. Res. Lett., 1993.

## B.8. Etude des déformations du sol par des méthodes géodésiques dans le Sud-Est asiatique

par Thierry DUQUESNOY et Michel KASSER

### B.8.1. Contexte - Objectifs

Les différentes actions de recherche liées à la géophysique développées à l'IGN lors de ces quinze dernières années ont permis de nouer de très nombreux contacts au sein de la communauté scientifique française et internationale des Sciences de la Terre et de produire de nombreux résultats importants.

Depuis la mise en pratique des techniques spatiales, et principalement du GPS, depuis le milieu des années 1980, le nombre de projets de "sismotectogéodésie" ne cesse de croître dans la communauté géophysique française et européenne. L'intérêt croissant que porte le monde de la recherche aux techniques de géodésie spatiale est clairement démontré par le nombre d'équipes de géophysiciens s'impliquant dans des programmes de mesures de déformation par positionnement.

Les objectifs scientifiques du projet sont principalement :

- détermination des mouvements instantanés et absolus des plaques tectoniques par l'utilisation des méthodes GPS et DORIS couplés à des points déterminés par VLBI et SLR (utilisation de la station LASER ultra-mobile),
- comparaison de ces mouvements avec les mouvements relatifs à long terme des modèles de tectonique globale issus de mesures sur les failles transformantes, les mécanismes au foyer, les anomalies magnétiques,
- détermination de la réponse lithosphérique (mécanique de la lithosphère) à la dynamique terrestre,
- détermination des vitesses de déformation à l'échelle régionale (jusqu'à 1000 km) aux frontières de plaques et dans les zones intraplaques : l'utilisation des techniques de géodésie spatiale permet les mesures de ces vitesses dans à peu près toutes les régions du monde sans la nécessité d'une logistique lourde et donne des vitesses instantanées à l'échelle des temps géologiques,
- surveillance et dynamique des volcans.

### B.8.2. Activité - Résultats

#### B.8.2.1. Etat des travaux fin 1992

En 1991 et 1992, l'activité essentielle de notre équipe s'est de nouveau axée sur l'implantation de nouveaux réseaux géodésiques (opérations 0) principalement dans des régions où la topographie des lieux et le couvert végétal rendaient les mesures par des techniques classiques impossibles sans une logistique lourde et coûteuse, notamment dans le Sud-Est Asiatique.

En janvier-février 1991, nous avons installé en collaboration avec l'Université Pierre & Marie CURIE et les organismes philippins (Philippines Institute of VOLcanology and Seismology, Mines and Geosciences Bureau and Philippines National Oil Company, trois réseaux géodésiques autour de la Faille des Philippines [BARRIER, DUQUESNOY 91] :

- un réseau de taille moyenne (mailles de l'ordre de 25 à 30 km) sur l'île de Leyte où il n'existe pas de sismicité historique,
- un réseau de plus petite dimension (mailles de un à cinq km) situé à Tongonan au niveau d'un relais de la faille et imbriqué dans le premier réseau,
- enfin le troisième réseau plus au nord où l'on trouve trace de sismicité historique.

#### B.8.2.2. Travaux de 1993

Une campagne de remesure du "petit réseau de Tongonan" a eu lieu à l'aide, entre autres, de récepteurs SERCEL NR 101 offert par la France aux partenaires Philippines dans le cadre de la coopération qui a eu lieu en mai 1993.

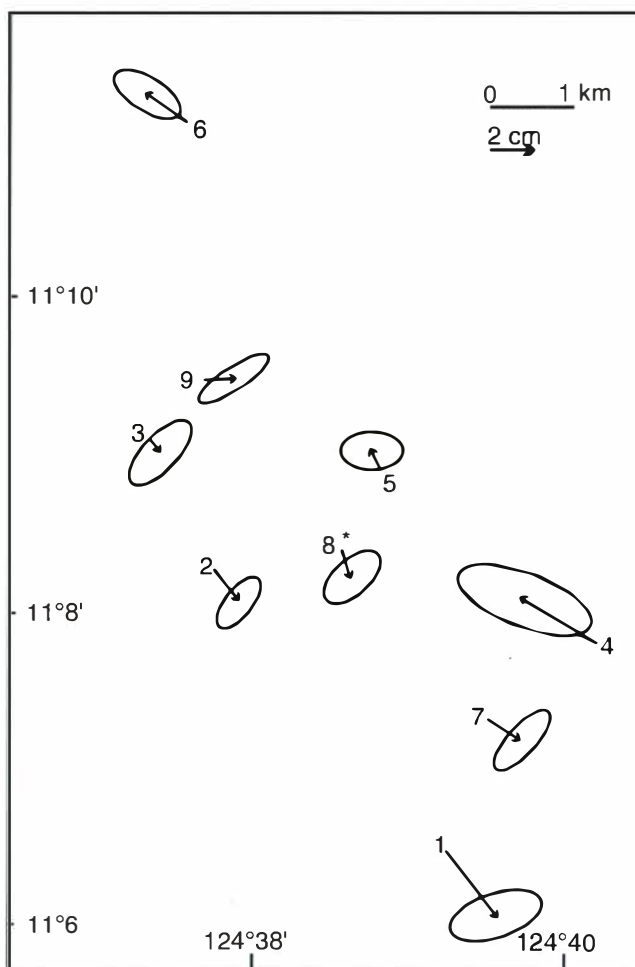
Cette remesure a permis de mettre en évidence [DUQUESNOY et al 93] des déplacements de l'ordre de 4-5 cm sur les points 1 et 4 et de 2 cm sur les points 2, 6 et 7. Les points 3, 5, 8 et 9 ne semblent pas être affectés par des déplacements relatifs (figure B.8.1. et table B.8.1.). Les cinq vecteurs déplacements significatifs ont une direction

moyenne de N130° avec un taux moyen de 26 mm par an. Ces valeurs sont compatibles avec la géométrie de la faille Philippine. Le taux moyen de déplacement est en accord avec les valeurs trouvées par d'autres études à caractère purement géologique : l'étude des vecteurs déplacements calculés par un modèle cinématique donne un mouvement instantané le long de la faille de 20 à 25 mm [BARRIER et al 91] par an tandis que l'évaluation du taux moyen de déplacement par la mesure du décalage d'un cône volcanique donne une valeur de 20 mm par an [AURÉLIO 92].

En marge de cette expérience, nous avons mesuré pour la première fois un réseau de points sur le sommet du Mérapi, volcan situé sur l'île de Java en Indonésie. Cette expérience dans le cadre d'une coopération franco-indonésienne a été réalisée en septembre 1993 en collaboration avec une équipe de géologues américains (B. VOIGHT et K. YOUNG de l'Université de Pennsylvanie) (USA). Compte tenu des mouvements importants attendus sur un volcan aussi actif des remesures avec une fréquence bisannuelle ou annuelle par les équipes indonésiennes éventuellement assistées par un français. L'objectif est de rechercher quelles sont les évolutions géométriques de ces volcans en période pré-éruptive, afin de mettre au point des méthodes de prévision.

**table B.8.1.** : différences (DDh) entre les distances réduites à l'ellipsoïde (en mm) pour l'intervalle 1991-1993 :

Base	$\Delta Dh$	Base	$\Delta Dh$	Base	$\Delta Dh$
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48



**figure B.8.1.** : vecteurs déplacements pour l'intervalle 1991-1993, issus des données géodésiques. Les ellipses d'erreur sont tracées à 95% d'intervalle de confiance. Les déplacements sont relatifs au centre de masse du réseau considéré comme invariant entre les deux époques de mesure

### B.8.3 Prolongements envisagés

Les résultats encourageants obtenus lors de la remesure du réseau de Tongonan nous font envisager une remesure des trois réseaux implantés en 1991 au mois de mai 1994. Nous espérons ainsi pouvoir déterminer si tous les déplacements au nord de Leyte se font le long de la faille ou si en s'éloignant de celle-ci, les déplacements sont plus importants.

#### Références

- [AURELIO, 91] MA. Aurelio : *Tectonique du segment central de la faille philippine : étude structurale, cinématique et évolution géodynamique*, thèse Université Paris 6, 500 pages, 1992.
- [Barrier et al, 1991] E. Barrier, P. Huchon. & M. Aurelio : *Philippine Fault : A key for Philippine kinematics*, *Geology*, 19, 32-35, 1991.
- [BARRIER et al 91] E. Barrier & T. Duquesnoy : *Etude Sismotectonique de la Partie Centrale de la Faille Philippine*, Preliminary Report, IGN Paris, 115 pages, 1991.
- [DUQUESNOY et al 93] T. Duquesnoy, E. Barrier, M. Kasser, MA. Aurelio, R. Gaulon, RS. Punongbayan & C. Rangin and the French-Philippines Cooperation Team : *Detection of creep along the Philippine Fault : First result of geodetic measurements in Leyte island (Central Philippines)*, accepté par *Geophysical Research Letters*.

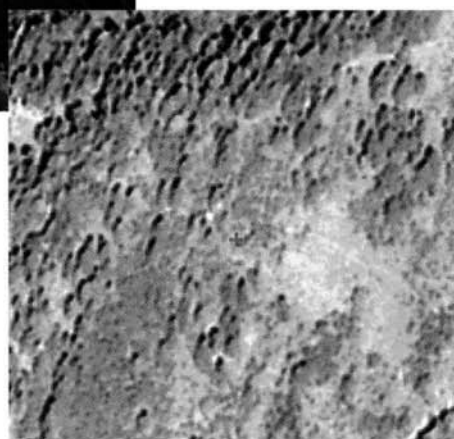
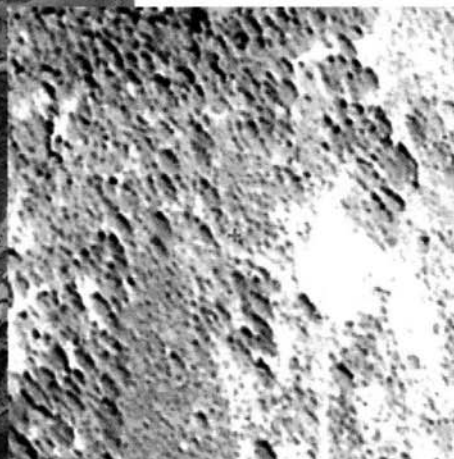


### C.1 Mise en place relative automatique d'un couple stéréoscopique d'images aériennes



*figure C.1.1*

*figure C.1.2*



*figure C.1.3*

A gauche : image gauche d'un couple à l'échelle du 1 : 30 000 sur la région d'Alberville, numérisée au pas de 50 microns; les points homologues corrélés sont représentés par des croix sur la partie commune (408 points trouvés, emq 5 microns).

A droite : détails; exemple d'appariement (en haut : position du point trouvé sur l'image gauche, en bas : sur l'image droite).

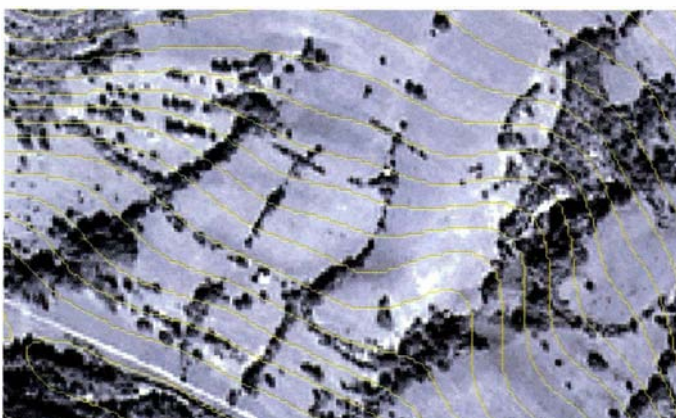


## C.2 Lissage des courbes de niveau issues de corrélation automatique

(site d'Alberville)



*figure C.2.1 : courbes calculées sur le MNT brut.*



*figure C.2.2 : lissage par la grille élastique sans lignes de rupture.*



*figure C.2.3 : lissage par la grille élastique avec lignes de rupture (saisies manuellement).*

### C.3 Extraction du réseau routier



**figure C.3.1** : recherche automatique d'amorces.  
Boîtes d'encombrement maximales des bords parallèles détectés.  
(Site de Montpellier, prise de vue à l'échelle du 1:20 000, numérisée au pas de 20 microns).

## Extraction du réseau routier (C.3 suite)



figure C.3.2 : zone hétérogène :  $emq = 231$

Mesure de la dispersion de l'arbre de recherche : après un premier tri des chemins en fonction de leur variance (ceux représentés en bleu clair sont pris en compte), on mesure l'écart quadratique entre chaque nœud de l'arbre et le chemin de variance minimale (en rouge). Cette mesure permet d'écarter les zones où l'homogénéité est isotrope et d'interrompre la propagation sur ce critère.

(site de Valréas, échelle du 1 : 20 000 numérisée au pas de 20  $\mu$ m)

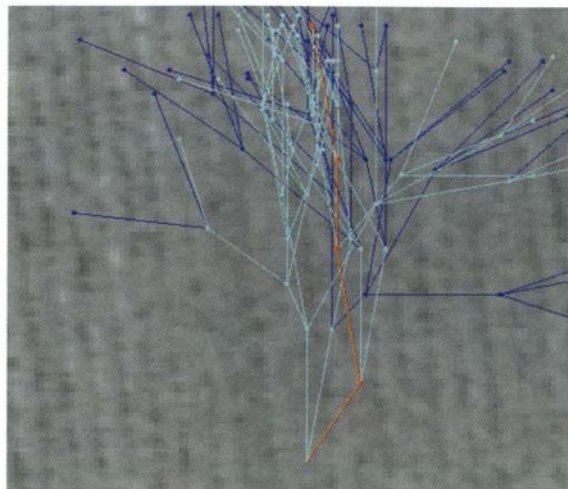


figure C.3.3 : zone homogène isotrope,  $emq = 402$

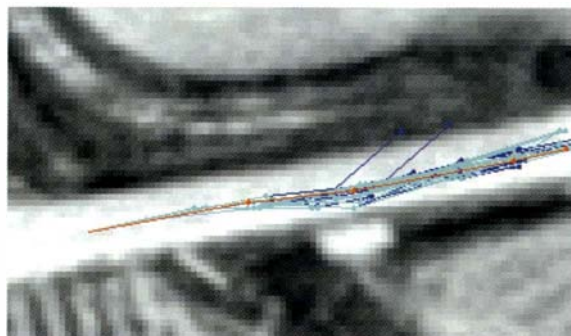


figure C.3.4 : route,  $emq = 2$

Afin de recalculer a posteriori le tracé détecté sur les axes de routes, on cherche localement à obtenir des points d'ancrage dont la géométrie sera correcte en recherchant des bords parallèles pendant le suivi. On met en évidence le meilleur couple de droites parallèles dans un gradient calculé suivant la direction orthogonale à la direction de propagation. Un apprentissage pendant le suivi permet de réduire le domaine de recherche (en position, orientation et écart entre les deux bords) d'après les mesures effectuées aux pas précédents.

(site de Valréas, échelle du 1 : 20 000 numérisée au pas de 20  $\mu$ m)

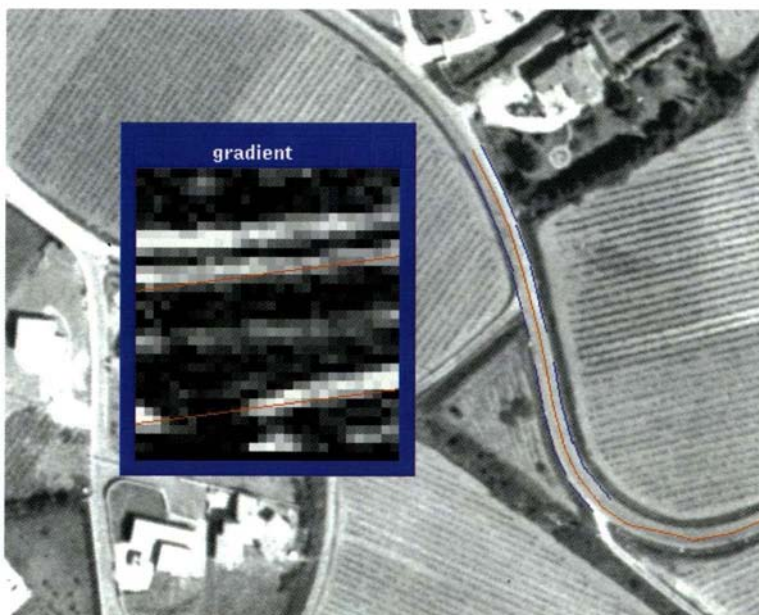
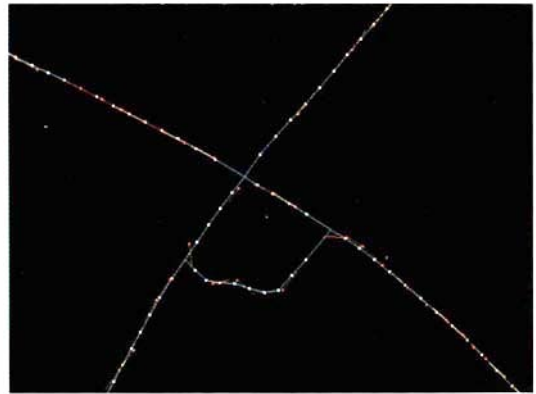
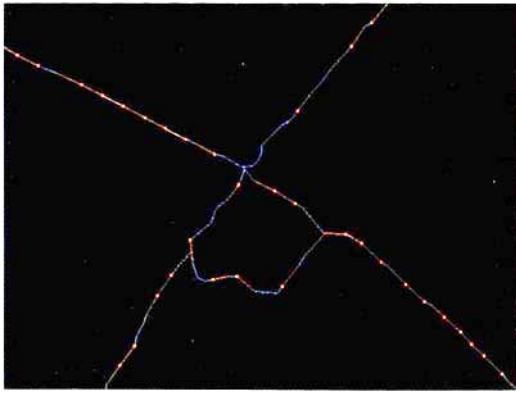


figure C.3.5 : suivi de route, recherche des bords parallèles



*figure C.3.6 et C.3.7 : lissage des axes de routes issus du suivi automatique  
(à gauche détection brute, à droite après lissage)*

La technique des contours actifs est utilisée pour lisser le résultat de la détection et interpoler un tracé régulier (par des contraintes de premier et deuxième ordre) entre les segments pour lesquels on a mis en évidence des bords parallèles (en rouge). Les carrefours sont soumis à des contraintes privilégiant les angles droits et les angles plats et sont correctement représentés. En revanche, le modèle ne permet pas de traiter les tracés anguleux qui sont exagérément lissés.



*figure C.3.8 : détection bruitée des axes routiers.*



*figure C.3.9 : résultat final après lissage*

## C.4 Restitution automatique des bâtiments

Site de Montreuil : Illustration des différentes étapes du traitement de restitution automatique des bâtiments.



*C.4.1 : image gauche en épipolaire*



*C.4.2 : image droite en épipolaire*



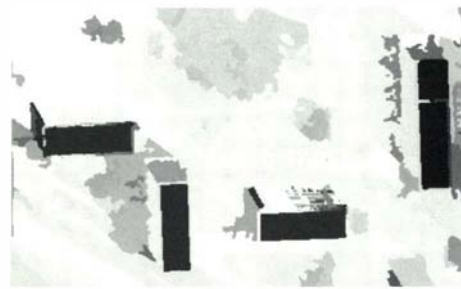
*C.4.3 : segmentation de l'image gauche par [DANG 94-2]*



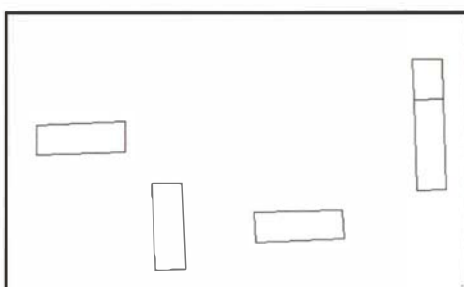
*C.4.4 : carte des disparités sans aucune correction*



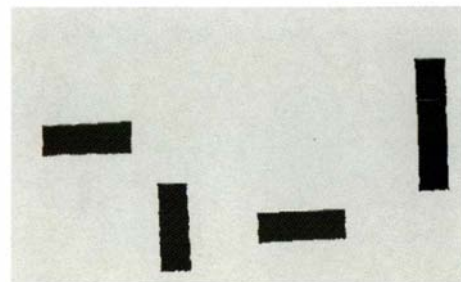
*C.4.5 : structures linéaires détectées*



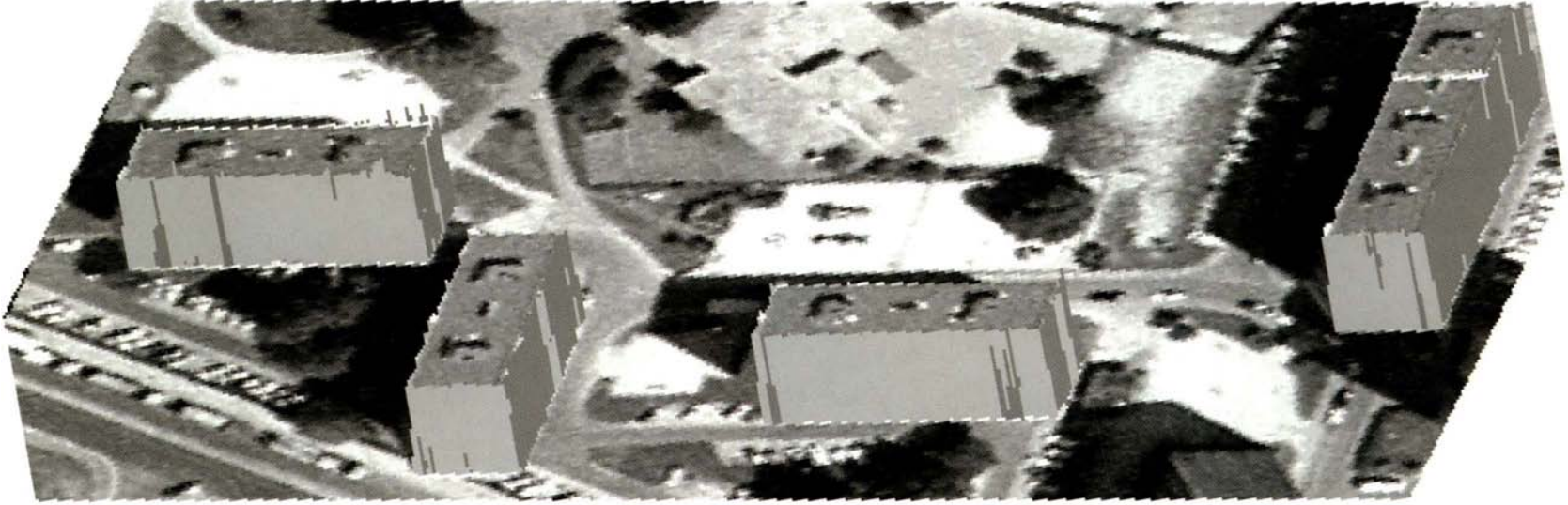
*C.4.6 : carte des disparités corrigée par des modèles plans*



*C.4.7 : structures rectangulaires détectées*



*C.4.8 : carte de disparités corrigée en utilisant les structures rectangulaires*



**figure C.4.9 :** site de Montreuil ; vue perspective calculée sur la carte des disparités, corrigée par les structures rectangulaires.

## C.5 Placement automatique des numéros de routes



figure C.5.1 : après un positionnement automatique des toponymes, les numéros de routes sont traités en gérant la répétitivité du numéro le long d'une route. 90% de ces numéros sont placés correctement.

## C.6 Placement automatique des écritures horizontales



figure C.6.1 : à partir des données de la BDTopo, les écritures (lieux-dits, désignations, points-cotés) sont placés automatiquement sur une carte au 1:25 000, avec 90% d'entre elles placées de manière satisfaisante



## C.7 Système expert pour la généralisation

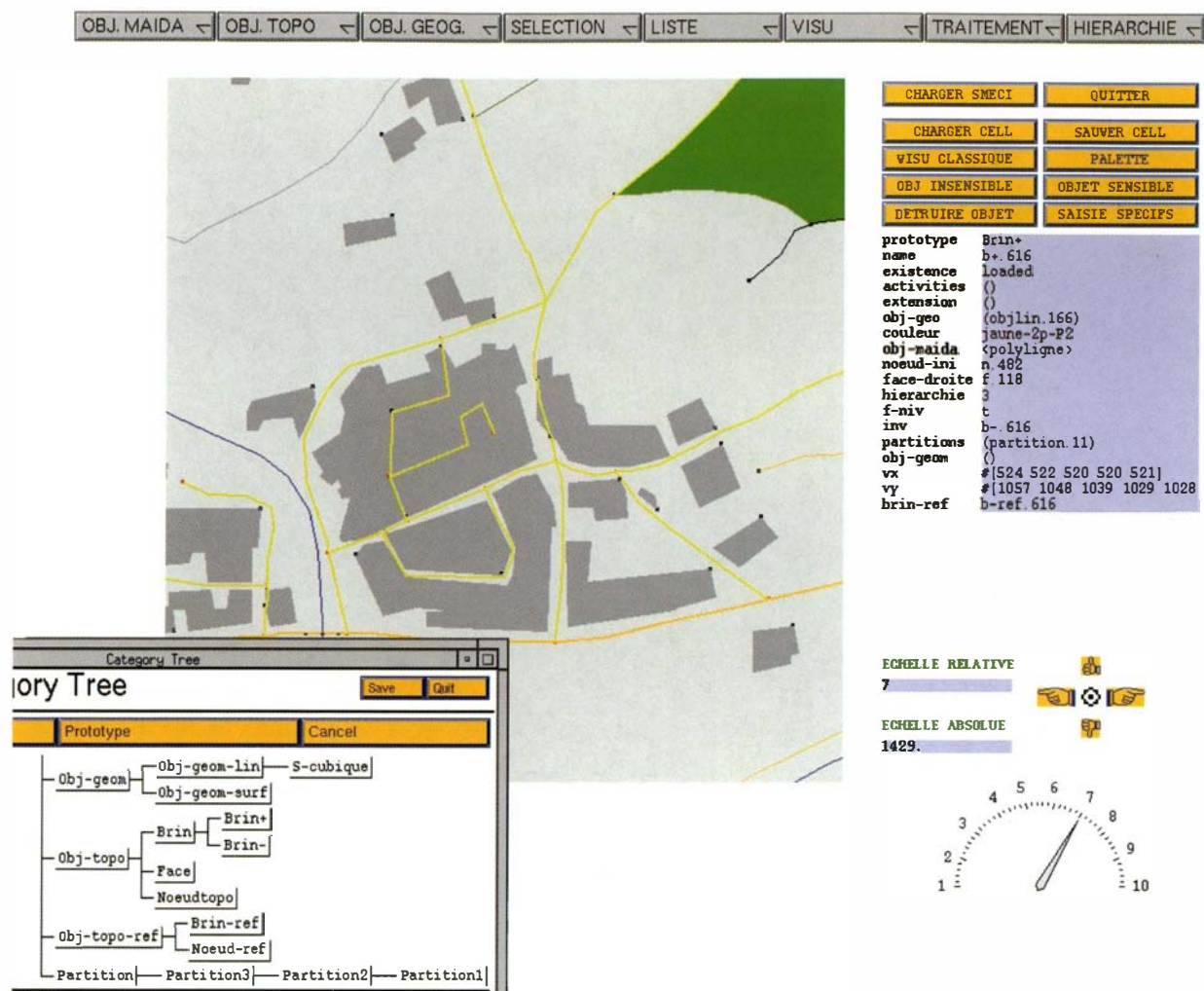


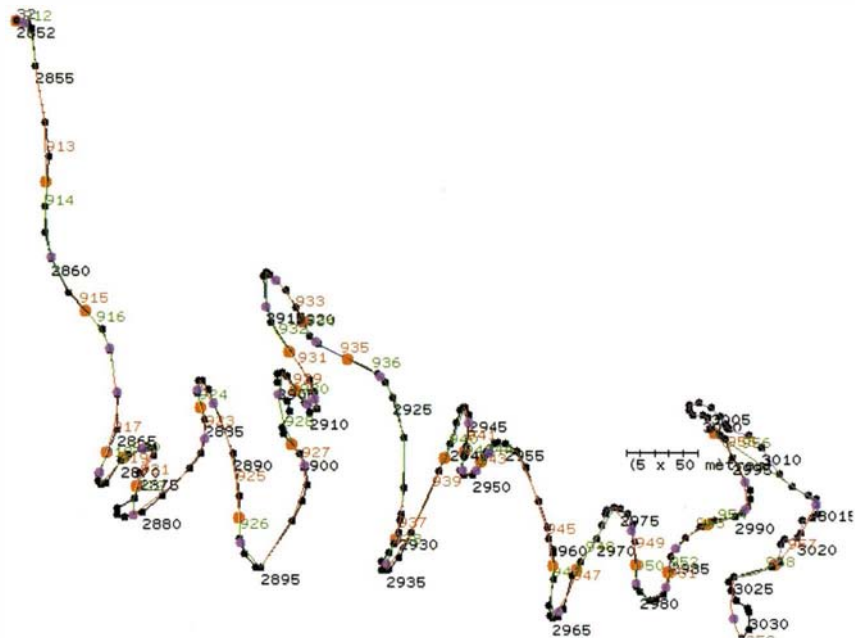
figure C.7.1

## C.8 Généralisation du linéaire

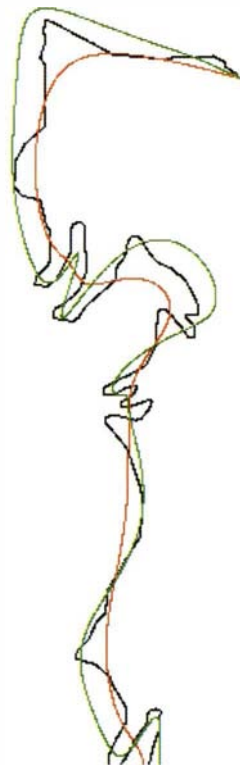


figure C.8.1 : visualisation des données routières de la BD Carto (en couleur) et des données filtrées (en blanc) par l'algorithme de WALL et DANIELSSON avec ou sans symbolisation

## Généralisation du linéaire (C.8 suite)

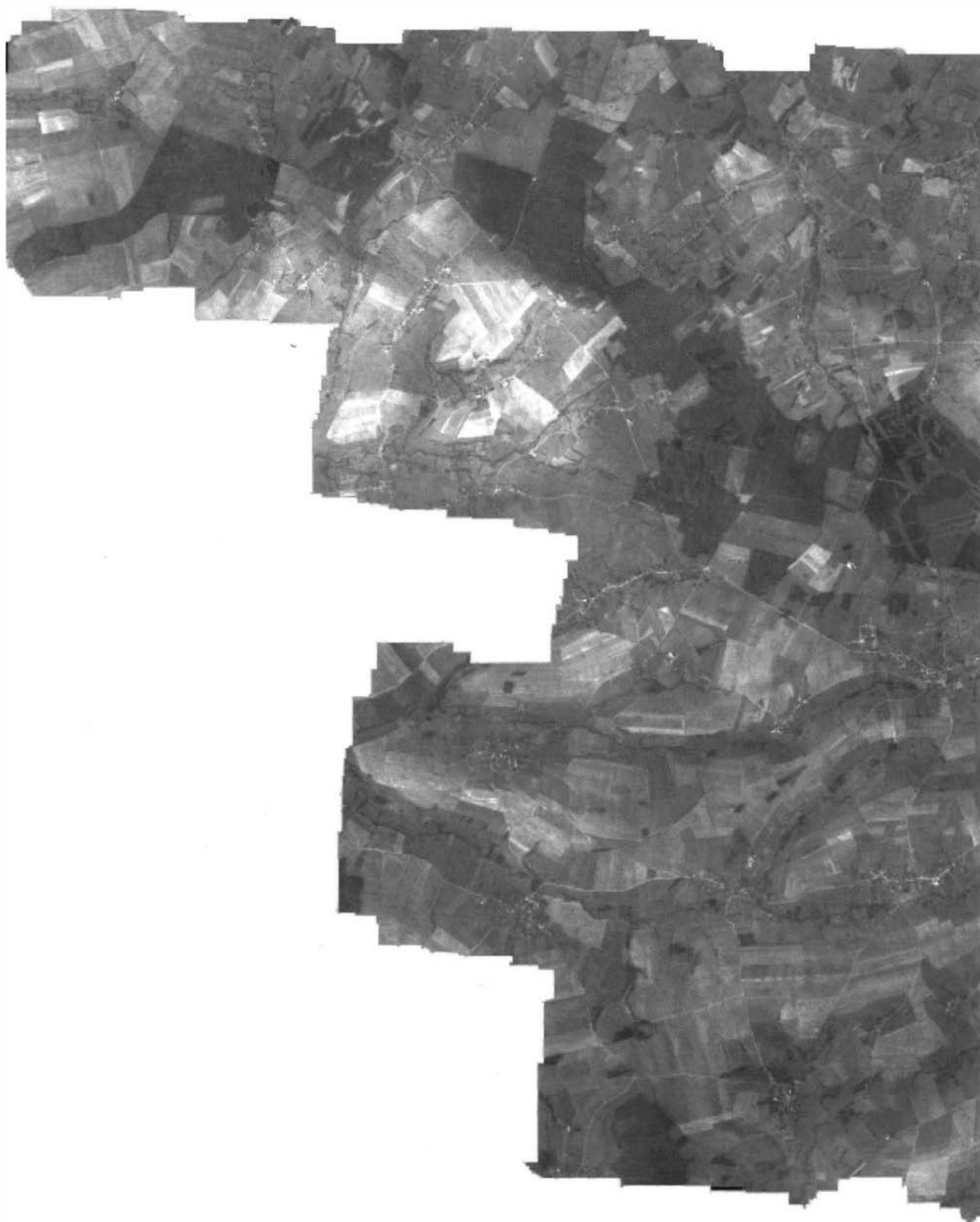


**figure C.8.2 : approximation des lignes des routes par des cubiques** : en noir, la ligne initiale; en rouge et en vert : les arcs de cubique qui l'approximent. On constate que, sauf pour certains tronçons (détectables et traitables par un programme spécifique), l'approximation est excellente. Ceci est dû à la nature même des courbes de virage (clothoïdes, très proches des cubiques).



**figure C.8.3 : caricature de virage** : en noir, la ligne initiale; en rouge : la ligne lissée par un algorithme classique (filtre gaussien); en vert : la ligne lissée puis caricaturée. On observe que certains virages qui semblaient avoir totalement disparu par lissage sont régénérés.

## C.9 Mosaïque issue d'une prise de vue par la caméra numérique CCD



*figure C.9.1*

Mosaïque réalisée à partir de la première mission aérienne de la caméra CCD. Elle couvre 12 km par 24 km à l'ouest de Charleville-Mézières (08). Elle est composée de 45 images.



*figure C.9.2*



# D. Bilan des actions de recherche

## D.1. Image et photogrammétrie

par Olivier JAMET

### Introduction

L'essentiel du programme de recherche 1993 porte sur l'aide à la saisie photogrammétrique de la Base de Données Topographique. L'objectif de ces recherches est la mise au point d'outils d'analyse d'image permettant l'automatisation partielle des tâches de restitution. Les techniques développées interviennent aussi bien au niveau des opérations photogrammétriques simples que de la saisie des différents thèmes cartographiques contenus dans la base. Un second axe de recherche concerne l'évaluation de la qualité des données géographiques.

Ce compte-rendu présente les activités de l'année structurées par thèmes d'application. La première partie se rattache aux activités en photogrammétrie. Ensuite, sont abordés les thèmes relatifs à l'extraction d'objets cartographiques (relief, réseau routier, autres thèmes planimétriques). Une rubrique est consacrée à l'interprétation des cartes scannées, que nous abordons avec l'objectif de fournir une aide à l'interprétation des photographies aériennes. Le dernier point concerne les recherches sur la qualité des données.

En fin d'année 1994, les recherches sur l'aide à la saisie de la BDTopo arriveront en fin d'une première phase, pendant laquelle on a tenté à la fois de constituer une expertise suffisante pour affiner les prévisions d'opérationnalité d'outils d'aide à la saisie fondées sur l'analyse d'image, et de mettre au point de premières méthodes sur les thèmes les plus abordables.

Les résultats attendus à court terme en production (étude préalable envisageable en 1995) concernent principalement :

- le relief : une étude préalable devrait débuter dans le courant du dernier trimestre 1994 et s'étendre sur un an (vu la diversité des solutions envisageables au niveau des interactions opérateur-outil automatique),
- le réseau routier : une maquette de laboratoire sera implantée fin 1994, et pourra servir de base à une étude préalable en 1995 si les résultats se montrent suffisamment concluants,
- les bâtiments : les résultats obtenus seront évalués fin 1994 - début 1995 (résultats de thèse), et exploitables début 1996.

Ces délais restent bien entendu à prendre avec précaution. Le fait qu'une méthode, à ce stade de la recherche, donne des résultats convaincants n'est pas une garantie d'opérationnalité. Deux conditions supplémentaires doivent être réunies pour garantir l'efficacité d'une méthode :

- l'ergonomie opérateur : cette question est liée à la construction des algorithmes et est donc partiellement étudiée en recherche; toutefois, elle dépend également de l'environnement informatique devant accueillir in fine les logiciels (performances, interdépendance entre les tâches de saisie sur image et de manipulation des SIG...) : ce dernier aspect relève d'études préalables impliquant le service de production,
- l'intégration dans la chaîne de saisie : certains outils, ou certains modes d'utilisation des outils, peuvent remettre en cause la configuration actuelle des chaînes de saisie, et il faut alors faire la part du coût d'une réorganisation du travail : ce type d'incidence doit également être évalué dans le cadre d'études préalables par le service de production (en collaboration avec le Service de la Recherche).

# Photogrammétrie

---

## D.1.1 Mise en place relative automatique

par Philippe GUIAVARC'H

La mise en place relative automatique consiste à rechercher par corrélation automatique les points homologues nécessaires au calcul des orientations relatives des deux clichés du couple stéréoscopique traité. Les résultats obtenus en 1992 [IGN 93] nous ont conduits à effectuer des expériences supplémentaires destinées à valider les observations effectuées.

Nous avons étudié l'influence de la résolution des images, l'utilité d'une présélection des points candidats sur des critères de contraste local, l'intérêt de stratégies multi-résolutions, l'apport d'un calcul progressif de la mise en place.

Tout en donnant lieu à des calculs plus lourds, la méthode offrant la plus grande robustesse consiste à calculer la mise en place de façon itérative, en initialisant le procédé sur un échantillon lourd (un millier de points).

### Référence

[IGN 93] *Bilan de la Recherche 1992* : rapport d'activité, IGN, Service de la Recherche, Bulletin d'Information de l'IGN, n° 61, pp. 16-18, 1993.

## D.1.2. Aérotriangulation

par Edouard BEAUVILLAIN et Michaël TONON

Dans le cadre des activités de l'OEEPE (Organisation Européenne d'Etudes Photogrammétriques Expérimentales), une expérience relative à l'aérotriangulation d'images numériques a été effectuée au MATIS. Les données étaient fournies par le coordonnateur de l'expérience (Finnish Geodetic Institute, Helsinki (SF)). Le bloc test était constitué de 28 clichés à l'échelle du 1 : 4 000, numérisés aux pas de 15 et 30 microns.

Deux méthodes de pointés ont été évaluées :

- pointés stéréoscopiques manuels sur le restituteur numérique T10 de MATRA CAP SYSTEME (MCS),
- pointés monoscopiques sur station de travail, avec recherche de l'homologue du point par corrélation automatique.

Les calculs d'aérotriangulation ont été faits sur le logiciel TOPAERO, mis au point par Yves EGELS (IGN).

Les résultats de l'expérience montrent que les pointés stéréoscopiques faits sur le T10 sont de qualité suffisante. Les résidus des calculs faits sur les mesures monoscopiques restent par contre élevés. Un rapport a été transmis au coordonnateur de l'expérience qui communiquera une synthèse comparant les méthodes et résultats des différents participants européens [BEAUVILLAIN 94].

### Référence

[BEAUVILLAIN 94] E. Beauvillain & M. Tonon : *Aerotriangulation Using Digitized Images*, rapport interne IGN-DT-SR, février 1994.

## D.1.3. Critères d'arrêt du corrélateur ponctuel

par Philippe GUIAVARC'H

L'algorithme de corrélation automatique mis au point durant les années précédentes par Patrick JULIEN procède par prédiction de l'homologue, calcul de la meilleure position autour de la position prédite, et validation en fonction des voisins déjà appariés. Le processus est itératif, l'étape de validation remettant en cause les points incohérents dont les homologues sont recalculés à l'itération suivante. La validation s'effectue sur une contrainte de pente maximale entre points proches, qui est relaxée au cours du traitement. La fenêtre de corrélation est également de taille variable.

L'expérience montre que dans certains cas, le calcul pouvait se poursuivre durant un temps assez long, sans pour autant apporter une information complémentaire très significative (tentatives successives sur des zones non corrélables).

Pour limiter ces calculs inutiles, des critères d'arrêts fondés sur l'analyse du déroulement de la corrélation ont été mis en place. Les indicateurs utilisés pour connaître l'état de la corrélation sont les suivants :

- temps CPU écoulé pour une augmentation de 1% de la surface corrélée,
- vitesse de corrélation moyenne,
- nombre de points validés,
- nombre de points invalidés,
- nombre de réamorçages effectués (cas où aucun prédicteur n'est validé),
- valeur moyenne de la contrainte de pente,
- valeur moyenne de la taille de la fenêtre de corrélation.

Ces indicateurs sont calculés chaque fois que le pourcentage de points corrélés augmente de 1%.

Trois critères ont été choisis pour contrôler l'arrêt du corrélateur. Chacun d'entre eux peut être activé suivant le désir de l'utilisateur :

• Le premier critère est lié au pourcentage de points corrélés. On fixe une durée maximale (en temps CPU) pour une augmentation de 1% de la surface corrélée. Cette durée maximale diminue automatiquement au fil du calcul. Une proposition d'arrêt est déclenchée si le temps autorisé est dépassé.

• Le second critère vise à éviter un nombre de réamorçages du corrélateur trop important, pour une production de points corrélés trop faible. Si le nombre d'amorçages dépasse une valeur fixée, un contrôle est effectué sur la vitesse de corrélation. Une proposition d'arrêt est déclenchée si cette vitesse est inférieure à un seuil donné.

• Le troisième critère a pour but de déceler une chute importante de la vitesse de corrélation annonçant une période peu productive du processus. Ce critère est lié à la variation de la vitesse de corrélation dans le temps. Une proposition d'arrêt est déclenchée si la vitesse de corrélation décroît et passe au dessous d'un certain seuil.

Ces critères ont été testés sur des zones difficilement corrélables (présence de parties cachées...), et ont permis de réduire les temps de calcul pour des résultats finaux comparables. Dans l'avenir, ce type d'indicateur pourrait être utilisé pour améliorer l'ajustement dynamique du paramétrage de la corrélation.

## D.1.4. Elimination du sursol isolé

par Philippe GUIAVARC'H et Olivier JAMET

Les méthodes de calcul du relief par corrélation automatique de couples stéréoscopiques d'images à haute résolution produisent des modèles numériques des parties vues, incluant tous les éléments du sursol (couverture végétale, bâtiments...). Pour produire des altitudes au sol, il convient d'éliminer les surfaces correspondant aux éléments de sursol dans le modèle calculé, et de les remplacer par des altitudes au sol (que l'on obtiendra par interpolation si les zones éliminées sont de faible taille).

L'approche testée en 1993 concerne uniquement le sursol isolé (bouquets d'arbres, haies, bâtiments isolés...). Ces objets correspondent, dans le relief calculé, à des excroissances caractérisables comme des maxima locaux d'altitude d'emprise relativement faible.

Trois types de traitement ont été comparés pour les détecter, dans le cadre d'un stage de DEA [ONDEDIEU 93]. Le premier effectue une analyse de la surface par une fenêtre glissante, et sélectionne les points d'altitude significativement supérieure à la moyenne (seuil fonction de l'écart-type local). Les deux suivants procèdent par



reconstruction d'une surface approchée sans sursol, et détection du sursol par différence à cette surface. Dans un cas, la surface est reconstruite par réinterpolation sur un semis de points correspondant aux minima locaux détectés sur une fenêtre glissante. Dans le second, la surface est calculée par ouverture morphologique de la surface.

Ces trois méthodes ont donné des résultats comparables sur des données de synthèse, une meilleure stabilité des résultats étant observée sur des données réelles pour la méthode morphologique.

Le sursol isolé étant détecté, la surface topographique est reconstruite par approximation ou interpolation des données initiales extérieures au masque de sursol (interpolation linéaire par triangulation, ou approximation par plaques minces ou par grille élastique).

La qualité du relief obtenu devra être quantifiée par comparaison à des saisies manuelles de la BDTopo.

Deux prolongements sont envisagés pour cette étude :

- d'une part, améliorer le traitement en combinant ces résultats avec une analyse de l'image des luminances (analyse de texture pour contrôler la nature du sursol détecté),
- d'autre part, étendre le traitement au sursol étendu, l'interpolation étant remplacée par une reconstruction de la surface au sol, avec des hypothèses sur la hauteur moyenne du sursol et éventuellement l'apport de données externes (courbes de niveau de faible précision de la Base de Données Altimétrique de l'IGN).

## Référence

[ONDEDIEU 93] JF. Ondedieu : *Délimitation du Sursol Isolé sur un Terrain Modélisé par Corrélation Automatique*, rapport de stage du DEA Sciences de l'Information Géographique, IGN, Service de la Recherche, juin 1993.

## D.1.5. Calcul des courbes de niveau

par Sylvain AIRAULT et Edouard BEAUVILLAIN

*Les effets du sursol et les erreurs étant supposés éliminés du relief calculé par corrélation automatique, un traitement reste nécessaire pour produire des courbes de niveau d'aspect cartographique. Le MNT issu de la corrélation d'un couple d'images aériennes numérisées à une résolution fine (de l'ordre du mètre pour assurer la compatibilité avec la précision des détails planimétriques) a un niveau de détails trop élevé pour en extraire directement une représentation lisible sous forme de courbes de niveaux. Afin de simplifier les formes, tout en conservant une bonne exactitude sur les éléments caractéristiques du terrain, il convient d'effectuer un lissage sous contraintes de la surface.*

*Les travaux effectués en 1993 ont porté sur l'utilisation de la grille élastique (approximation discrète des splines plaques minces) pour effectuer ce lissage. L'étude incluait des recherches sur les méthodes d'extraction automatique de lignes caractéristiques.*

### D.1.5.1. Extraction de lignes caractéristiques

Une méthode simple a été développée afin de pouvoir réaliser des tests de lissage. Les accidents de terrain caractéristiques sont assimilés aux lieux de changement de pente important. Ils sont extraits par différence du MNT à sa moyenne locale, et seuillage du résultat. Cette méthode présente l'avantage de mettre en évidence les éléments caractéristiques ponctuels comme linéaires, avec l'inconvénient d'être trop locale et de ne pas prendre en compte l'emprise planimétrique des éléments détectés.

Des méthodes d'extraction de thalwegs basées sur des calculs d'écoulement [LE ROUX 93] ont également été testées. Leur résultat reste cependant trop bruité sur les données traitées. Il conviendrait de filtrer les thalwegs détectés en fonction de l'importance des mouvements de terrain, aussi bien au sens de leur emprise spatiale qu'au sens des dénivelées et des ruptures de pente locales.

### D.1.5.2. Prise en compte des éléments caractéristiques dans le lissage

La méthode de la grille élastique [DE MASSON D'AUTUME 78, JULIEN 93] permet d'introduire des ruptures de pente longitudinales ou transversales (par rapport à la maille du MNT), en modifiant localement les contraintes d'élasticité interne de la surface. Les premiers tests ont montré que le rendu cartographique des courbes interpolées sur le MNT lissé par cette technique était plutôt satisfaisant. Une évaluation quantitative de l'exactitude des courbes obtenues reste à faire.

Des algorithmes de test ont par ailleurs été développés, qui permettront d'enrichir le modèle de surface sous-jacent par adjonction de contraintes complémentaires.

### D.1.5.3. Prolongements envisagés

Outre l'évaluation quantitative des résultats (contrôle de la conformité aux spécifications de saisie), des compléments restent à apporter sur les techniques d'extraction des éléments caractéristiques :

- fiabilisation des extractions locales par reconnaissance de lignes dans le résultat,
- exploitation des détections fondées sur les méthodes d'écoulement (hiérarchisation des détections),
- extension des méthodes d'écoulements pour la détection des crêtes.

### Références

[DE MASSON D'AUTUME 78] M. De Masson d'Autume : *Construction du Modèle Numérique d'une surface par approximations successives; application aux Modèles Numériques de Terrain*, Bulletin de la SFPT, n° 71-72, 1978.

[IGN 93] *Bilan de la Recherche 1992* : rapport d'activité, IGN, Service de la Recherche, Bulletin d'Information de l'IGN, n° 61, pp.16-18, 1993.

[JULIEN 93] P. Julien : *Traitements Altimétriques (Modèles Numériques de Terrain)*, cours du DEA Sciences de l'Information Géographique, IGN, Service de la Recherche, 1993.

[LE ROUX 93] D. Le Roux : *Modélisation des Ecoulements sur un Modèle Numérique de Terrain*, rapport de stage, IGN, Service de la Recherche, juillet 1993.

### D.1.6. Corrélateur par facette

par Patrick JULIEN

Le corrélateur DAUPHIN (Détermination Automatique des Points Homologues sur des Images Numériques) actuel est un corrélateur ponctuel, au sens où il apparie, point par point, des imagettes (5 x 5 à 11 x 11). Le résultat est une approximation du terrain par des facettes horizontales.

Un des inconvénients est de restituer un MNT beaucoup trop détaillé, dont dérivent des courbes de niveau peu lisibles sans traitement de lissage (cf § D.1.5 Calcul des courbes de niveau).

Pour y remédier, on a entrepris cette année de mettre au point un corrélateur amélioré, contraint à restituer une surface caricaturée.

Le corrélateur amélioré prend en compte l'inclinaison du terrain, ce qui l'autorise à apparier des imagettes de grande taille (40 x 40 à 100 x 100). Le résultat est une approximation du terrain par des facettes bilinéaires (fonction parabolique hyperbolique (p.h.) par morceau).

Les avantages du procédé sont multiples :

- l'approximation du terrain est meilleure avec un pas plus grand,
- les appariements sont fiables, parce que les imagettes corrélées sont de grande taille,
- le relief, cause prépondérante de la dégradation du coefficient de corrélation, étant corrigé au premier ordre, les coefficients de corrélation augmentent et deviennent significatifs; ils peuvent servir à valider les appariements; en corollaire, un coefficient de corrélation faible pour une facette indique que la représentation par un p.h. est insuffisante,
  - la surface obtenue est sans trous (contrairement à la corrélation ponctuelle, pour laquelle il reste des points non corrélés en fin de calcul); l'opération de bouchage est donc supprimée,
  - la surface obtenue est fortement caricaturée (l'opération actuelle de lissage est supprimée); les courbes de niveau dérivées devraient être immédiatement lisibles,
  - il y a un seul paramètre important : le pas du MNT (une imagette correspond à une maille); pour mémoire, la méthode ponctuelle comporte les paramètres suivants : pas du MNT, taille minimale et maximale des fenêtres de corrélations, pente maximale, seuil de corrélation,
    - dans le programme prototype développé, le MNT est obtenu directement en projection cartographique; de plus, on utilise directement les images originelles (sans ré-échantillonnage en épipolaire comme dans la corrélation ponctuelle); il n'y a plus de fichiers intermédiaires de travail; bref, la mise en œuvre est nettement simplifiée,
    - le temps de traitement est comparable à celui du corrélateur DAUPHIN ponctuel,
    - le corrélateur fonctionnant par approximations successives, on peut partir de n'importe quel MNT approché; en particulier, le corrélateur s'insère facilement dans un processus multi-résolution.

Les prolongements envisagés concernent :

- l'étude des traitements particuliers à appliquer aux parties cachées,
- l'évaluation de la qualité des MNT produits (en zone rurale),
- l'évaluation de l'intérêt d'une approche multi-résolution (pour accélérer le traitement).

## D.1.7. Parallélisation de la corrélation automatique

par Christophe MAZZONI

Cette recherche est effectuée dans le cadre d'une thèse co-financée par le CEA et l'IGN, les implantations étant effectuées sur la machine parallèle SYMPAT12 (SYstème MultiProcesseur Adapté au Traitement d'Images) du CEA (processeur d'images basé sur une architecture SIMD constituée de 32 à 128 processeurs). L'année 1993 a été consacrée au choix de la meilleure stratégie pour paralléliser le corrélateur DAUPHIN ponctuel, développé à l'IGN par Patrick JULIEN.

Deux stratégies ont été étudiées. La première, dite "au coup par coup", reproduit le fonctionnement de l'algorithme séquentiel, n'utilisant les ressources parallèles que pour le calcul des coefficients de corrélation. Dans un premier temps, on a envisagé d'utiliser les processeurs parallèles pour calculer simultanément toutes les hypothèses d'appariement concernant le point traité. Cette approche s'est révélée peu fructueuse. Le corrélateur fonctionne par prédiction, puis validation des appariements. Le domaine de recherche de l'homologue d'un point autour de son homologue prédit est en général très faible. Le parallélisme reste donc mal exploité. Cette stratégie pourrait être améliorée en parallélisant non pas le calcul des coefficients de corrélation sur le domaine de recherche de l'homologue, mais sur un ensemble de lignes de l'image (traitement des calculs nécessaires à plusieurs recherches d'homologues en parallèle). Une estimation des temps de calcul donne toutefois un gain de temps très réduit, même dans cette dernière configuration.

La seconde stratégie, que l'on qualifie de "globale", consiste à précalculer, sur l'ensemble de l'image, tous les coefficients de corrélation qui seront nécessaires à la recherche des homologues. Cette approche tire un plein parti du parallélisme, mais conduit à effectuer un grand nombre de calculs inutiles. Elle peut rester intéressante dans la mesure où elle ouvre la voie à d'autres démarches de mise en correspondance (non plus par prédiction-validation, mais par optimisation globale).

Les corrélations sur des fenêtres 3 x 3 et 5 x 5 ont été implantées sur SYMPAT12. Pour une fenêtre 3 x 3, on gagne seulement un facteur 2.4 par rapport à un calcul séquentiel (test effectué sur une image 256 x 256). Ce résultat s'explique par un temps incompressible de chargement des images sur SYMPAT12, et par le fait que les calculs flottants (racines carrées, quotients) intervenant dans la formule du coefficient de corrélation linéaire sont effectués sur le processeur séquentiel. Ces calculs étant en nombre fixe quelle que soit la taille de la fenêtre de corrélation, le facteur de gain augmentera donc avec la taille de la fenêtre.

Les perspectives de travail dans le cadre de la thèse concernent la finalisation de la méthode globale, avec des améliorations portant sur la prise en charge des calculs en flottants par SYMPAT12.

# Extraction du réseau routier

Cette recherche vise à automatiser la saisie photogrammétrique du réseau routier de la BDTopo en proposant un outil de saisie, soit complètement automatique, soit laissant une part du travail plus ou moins importante à l'opérateur, conçu alors comme une "aide à la saisie". Ce contexte applicatif impose des contraintes strictes sur les images à traiter (photographies au 1 : 30 000) et sur la qualité géométrique des résultats (précision de l'ordre du mètre en écart-type).

Les recherches de l'année ont consisté à travailler parallèlement sur les trois axes suivants : détection de points de départ, fiabilisation du suivi de routes et calcul de la géométrie. Ces trois phases seraient traitées successivement dans une application d'extraction automatique du réseau routier.

Par ailleurs, il est apparu important d'imaginer les différentes possibilités d'intégration de ces modules indépendants au sein de processus de saisie plus ou moins interactifs.

## D.1.8. Détection automatique d'amorces

par Renaud RUSKONÉ

La recherche automatique d'amorces de réseau routier correspond à une alternative automatique au pointé opérateur nécessaire pour initialiser les procédures de suivi de route développées jusqu'ici. Cette automatisation peut avoir deux objectifs. D'une part, à long terme, elle peut déboucher sur l'automatisation complète d'une partie de la saisie du réseau. D'autre part, à court terme, elle permet d'envisager un pré-traitement des images (reconnaissance automatique), avant l'intervention d'un opérateur humain, autorisant l'emploi de procédures plus lourdes en temps de calcul pour les phases de détection et de calcul de la géométrie.

La méthode peut se décomposer en deux phases :

- a. segmentation,
- b. caractérisation des formes.

a. Plusieurs méthodes de segmentation ont été testées. Celle qui semble donner les résultats les plus fiables quel que soit le type de paysage est la suivante, elle est basée sur la mise en évidence d'homogénéités directionnelles :

- on utilise le principe du filtre de NAGAO avec des voisinages plus étendus et plus fins pour générer trois images: une image des variances dans la direction où elles sont minimales, une image des moyennes sur les voisinages qui minimisent la variance et une image des directions de plus grande homogénéité,

- on génère alors une image de labels par croissance de régions. Deux pixels appartiennent à la même région si : la différence des moyennes radiométriques est inférieure à un seuil et ils ont la même valeur dans l'image des variances binarisée et la différence des directions de meilleure homogénéité est faible.

b. Ensuite, les zones issues de la segmentation sont filtrées suivant des critères de surface, de largeur et d'allongement. Les contours sont alors vectorisés par une approximation polygonale et des droites parallèles sont mises en évidence permettant ainsi d'obtenir des germes de routes fiables, hiérarchisés suivant la longueur des bords parallèles et la variance des radiométries à l'intérieur de la "boîte" délimitée par les deux bords.

La sensibilité de la méthode au type de paysage reste à évaluer. Les tests effectués en zone rurale ont montré jusqu'à présent une densité de détection suffisante pour assurer une couverture exhaustive du réseau.

## D.1.9. Fiabilisation du suivi de route

par Sylvain AIRAULT et Renaud RUSKONÉ

L'algorithme de suivi de route a peu évolué. Le fait d'avoir clairement dissocié le traitement de la géométrie et la reconnaissance proprement dite a plutôt entraîné une simplification des critères de propagation, le suivi étant désormais basé sur une modélisation strictement radiométrique des routes (homogénéité directionnelle, pas de changements brusques de radiométrie).

Les critères d'arrêt utilisés sont les suivants :

- seuil sur la variance,
- seuil sur la variation de radiométrie moyenne,
- seuil sur la dispersion de l'arbre de recherche : on examine la géométrie de l'arbre des chemins possibles [AIRAULT 93]. Si l'homogénéité est isotrope, on interrompt la propagation.

Tels quels, et sur les sites de tests actuels (zones rurales, réseau secondaire), les critères d'arrêt semblent suffisants. Les propagations importantes hors des axes du réseau routier sont très rares. Toutefois, le diagnostic des erreurs s'effectue toujours avec un léger retard. Dans une perspective de procédure supervisée par un opérateur, il conviendra d'éliminer systématiquement les queues de détection erronées apparaissant en cas d'échec du suivi.

## Référence

[AIRAULT 93] S. Airault & O. Jamet : *Détection et restitution automatiques du réseau routier sur images aériennes*, Congrès AFCET / RFIA, Paris (F), janvier 1994, papier accepté en septembre 1993.

## D.1.10. Lissage des extractions

par Sylvain AIRAULT

La tendance à séparer l'aspect reconnaissance des routes de l'aspect restitution fine de la géométrie s'est confirmée dans la mesure où elle offre de nombreux avantages [AIRAULT 93] :

- l'absence de contraintes géométriques lors de la détection permet d'avoir une plus grande exhaustivité en continuant le suivi même si la route est partiellement masquée par des obstacles,
- le traitement a posteriori de la géométrie permet de prendre en compte "naturellement" le problème de la représentation des carrefours qui ne peut être résolu si l'on traite les routes séquentiellement,
- la modularité des traitements permet de déboucher sur différents processus, plus ou moins interactifs.

L'algorithme utilisé, pour le traitement a posteriori de la géométrie du réseau, est inspiré des contours actifs, cherche à minimiser une fonction d'énergie prenant en compte à la fois des primitives de l'image et un modèle géométrique des routes. En effet, l'information contenue dans le graphe issu de la détection n'est pas suffisante pour permettre l'application d'un lissage sans prise en compte d'informations externes (lissage gaussien [CHARDINY 93]).

Les contraintes internes utilisées sont celles proposées habituellement dans la littérature, à savoir que l'on cherche à minimiser la somme des dérivées de premier et deuxième ordres pour tous les points du tracé, traduisant ainsi le fait que les routes ont des courbures faibles et régulières.

Les contraintes externes sont calculées par rapport à des primitives extraites dans l'image, en minimisant la somme des carrés des distances entre les segments du graphe et les primitives. La robustesse de l'algorithme dépend ensuite de la qualité et de la densité des primitives extraites.

La méthode utilisée pour l'extraction des primitives est une recherche locale de bords parallèles dans un gradient, utilisant la connaissance de l'orientation approchée de la route. Inspirée initialement par les algorithmes de programmation dynamique développés à Delft (NL) [HANGOUËT 93], la méthode a évolué vers une extraction plus contrainte : on recherche localement le meilleur couple de droites parallèles en faisant varier la position de l'axe, son orientation, et l'écart entre les bords recherchés (largeur de la route). On obtient ainsi des primitives fiables qui, étant linéaires, permettent de contraindre le tracé en position mais également en orientation.

## Références

[AIRAULT 93] S. Airault & O. Jamet : *Détection et restitution automatiques du réseau routier sur images aériennes*, Congrès AFCET / RFIA, Paris (F), janvier 1994, papier accepté en septembre 1993.

[CHARDINY 93] G. Chardiny : *Lissage des axes de routes issus du suivi automatique*, rapport de stage, DEA Sciences de l'Information Géographique, IGN, ENSG, juin 1993.

[HANGOUËT 93] JF. Hangouët : *Suivi automatique de routes sur images aériennes : recentrage du tracé sur l'axe médian*, rapport de stage, DEA Sciences de l'Information Géographique, IGN, ENSG, septembre 1993.

## D.1.11. Les possibilités d'intégration dans un processus complet

par Sylvain AIRAULT

Plusieurs enchaînements ont été envisagés pour inclure ces différents modules dans un processus opérationnel de saisie du réseau routier [AIRAULT 93]. Ils font intervenir une part plus ou moins grande d'interactivité :

- la détection peut être manuelle en réalisant une saisie grossière sur image basse-résolution qui serait ensuite recalée automatiquement sur l'image haute-résolution,
- la détection peut être semi-automatique avec indication manuelle des amorces de routes et contrôle du suivi de route en temps réel. Le résultat du suivi est ensuite recalé automatiquement,
- la phase de détection peut être remplacée par l'utilisation de données externes de moindre précision qui seraient recalées automatiquement,
- le processus peut être entièrement automatique avec une détection automatique des amorces puis du réseau lui-même, suivie d'un recalage automatique.

Les algorithmes actuels donnent satisfaction pour le traitement d'une bonne partie du réseau. Il serait sans doute vain d'essayer d'améliorer ces algorithmes en espérant traiter l'intégralité du réseau avec un seul type de techniques.

Aussi, les suites à donner en 1994 à cette recherche sont de deux types. D'une part, il convient de tester d'ores et déjà l'opérationnalité des méthodes proposées, dans un environnement supervisé par un opérateur.

D'autre part, en ce qui concerne les recherches, les améliorations à attendre se situent plus au niveau du contrôle du processus que des algorithmes. Il est donc envisagé de considérer le suivi de route actuel comme un outil d'extraction bas-niveau à partir duquel il serait possible de bâtir un système de plus haut niveau, incluant des tâches d'interprétation. Il est prévu d'aborder les points suivants :

- la génération d'hypothèses de connexions entre primitives extraites par le suivi de routes,
- la vérification des hypothèses en utilisant une architecture multi-spécialistes, ce qui implique :
  - de développer des spécialistes capables de détecter localement des obstacles particuliers (ombres, arbres, marquage au sol) et capables d'auto-évaluer la fiabilité de leur diagnostic,
  - de construire des règles de décision permettant de choisir l'interprétation la plus vraisemblable.

Par ailleurs, il nous faut aborder les problèmes de restitution 3-D du réseau, soit en utilisant des données externes du relief (qui pourraient être intégrées dans le modèle des contours actifs sous la forme de contraintes internes sur les pentes le long de la route), soit en réalisant conjointement les traitements sur les deux images du couple stéréoscopique.

### Référence

[AIRAULT 93] S. Airault & O. Jamet : *Automatisation de la saisie des routes sur images aériennes*, Bulletin de la SFPT, décembre 1993.

## D.1.12. Utilisation d'une base de données externes

par Sylvain AIRAULT, Philippe GUÉRIN et Ghislaine BORDES

Cette étude a été réalisée au Département Image de l'ENST, et financée par l'IGN. Elle s'insère dans le cadre des recherches de l'IGN sur l'extraction automatique du réseau routier sur images aériennes. L'une des solutions pour fiabiliser l'extraction des routes est de supprimer la phase de détection en recourant à des données externes de précision insuffisante, que l'on cherche à recalculer sur un couple stéréoscopique d'images aériennes pour obtenir la précision métrique conforme aux spécifications de la Base de Données Topographique. La méthode est envisageable sur les zones où des bases de données sont disponibles : pour une partie du réseau routier en zone rurale (utilisation de la Base de Données Cartographique) et pour son intégralité en zone urbaine (Base de Données Routière).

L'étude a donné lieu à un rapport [GUÉRIN 93]. Les sites de test étaient situés en proche banlieue parisienne. Les résultats ont montré que l'on pouvait améliorer la précision géométrique des réseaux donnés en entrée du processus dans 60 à 80% des cas (selon la difficulté du site). Les échecs ont deux causes principales :

- la complexité des images : en milieu urbain, les chaussées peuvent être en grande partie masquées par d'autres éléments (arbres, ombres de bâtiments, véhicules...),

- les différences de représentation entre la base de données en entrée et les images : la base de données contient une information simplifiée, qui ne reflète pas complètement l'information à rechercher dans les images (une route à chaussées séparées, par exemple, pourra être représentée par un seul axe); un simple traitement de recalage n'est alors pas suffisant.

En conclusion, les méthodes développées ne pourront être opérationnelles qu'à deux conditions :

- d'une part, que soient prises en compte les conventions de représentation de la base utilisée en entrée,
- d'autre part, que la qualité du traitement puisse être diagnostiquée automatiquement dans le processus, de façon à permettre une correction manuelle sans avoir à contrôler l'ensemble des axes.

Le prolongement de ces travaux est assuré dans le cadre d'une thèse de portée un peu plus générale, débutée en fin d'année par G. BORDES, sur l'utilisation de la Base de Données Cartographique comme aide à l'interprétation d'images aériennes (direction G. GIRAUDON, INRIA). Le thème d'application reste le réseau routier, mais l'on prévoit l'utilisation de toute l'information disponible dans la base (en particulier les attributs des tronçons routiers, et les informations décrivant le contexte - occupation du sol, hydrographie...) pour augmenter la fiabilité du traitement.

## Référence

[GUÉRIN 93] P. Guérin & H. Maître : *Recalage de Données Vecteur sur une Image Aérienne en Vue d'une Extraction Automatique du Réseau Routier*, rapport d'étude, Département IMAGE, ENST, novembre 1993.

# Autres thèmes planimétriques

## D.1.13. Restitution des bâtiments

par Tuan DANG et Olivier JAMET

Cette recherche fait l'objet d'une thèse financée par l'IGN (direction Henri MAÎTRE, ENST), dont l'achèvement est prévu pour septembre 1994. L'année 1993 a été principalement consacrée à l'étape de reconnaissance de forme destinée à obtenir une représentation géométrique correcte des formes tridimensionnelles issues des étapes de corrélation et de lissage par des modèles plans sur des régions calculées par segmentation d'image [IGN 93].

Cette phase est basée sur un modèle simple de forme : les bâtiments cherchés sont rectangulaires ou constitués d'assemblages de rectangles. On utilise des techniques de groupement perceptuels pour la recherche des rectangles dans un ensemble de contours détectés sur l'une des images. Le traitement s'effectue en deux étapes : recherche de droites, puis assemblage des droites en hypothèses de rectangles par exploration du graphe défini par les relations d'orthogonalités entre les droites reconnues [DANG 94-1].

Pour limiter l'aspect combinatoire du traitement, les contours initiaux (issu d'un gradient de DERICHE ou d'une segmentation en régions homogènes) sont filtrés par la carte de parallaxes obtenue par corrélation et lissage (seuls les contours séparant deux régions de parallaxes différentes sont pris en compte).

Ces procédures ont été testées sur plusieurs sites, en milieu péri-urbain, sur des clichés à l'échelle du 1 : 20 000 numérisés au pas de 20 microns. La méthode donne des résultats qualitativement concluants pour les bâtiments importants dont les formes satisfont les hypothèses de départ.

Outre ces aspects, des améliorations ont été apportées aux algorithmes employés pour les étapes précédentes. On a en particulier mis au point un algorithme de segmentation plus adapté aux images aériennes panchromatiques utilisées [DANG 94-2].

La fin de la thèse sera consacrée à deux aspects :

- reconstruction tridimensionnelle et validation des hypothèses de bâtiments par examen des ombres portées,
- évaluation quantitative des résultats (précision géométrique de la restitution et fiabilité de la méthode).

## Références

[IGN 93] *Bilan de la Recherche 1992* : rapport d'activité, IGN, Service de la Recherche, Bulletin d'Information de l'IGN, n° 61, pp. 25-26, 1993.

[DANG 94-1] T. Dang, O. Jamet & H. Maître : *An Image Segmentation Technique based on Edge-Preserving smoothing filter and Anisotropic Diffusion*, in Proc. IEEE Southwest Symposium Image Analysis and Interpretation, Dallas, Texas (USA), pp. 65-69, avril 1992.

## D.1.14. Analyse de textures sur photographies aériennes

par Rémi JAYER et Olivier JAMET

Cette étude fait l'objet d'une thèse financée par l'IGN (direction André GAGALOWICZ, INRIA), commencée en octobre 1992. L'objectif de la thèse est d'améliorer les procédures de segmentation d'images par reconnaissance des textures présentes, ce d'une part pour délimiter des zones de couverture homogène, et d'autre part pour apporter des outils d'aide à la saisie des thèmes de végétation. Les images utilisées sont des clichés panchromatiques à l'échelle du 1 : 30 000, numérisés à une résolution voisine du mètre au sol.

On s'est en premier lieu intéressé à la caractérisation des textures par la statistique d'ordre 1. Pour ce faire, on a implanté un algorithme de croissance de régions fondé sur un critère de corrélation d'histogramme, inspiré des travaux de LOWITZ, BRETAUDEAU et SECCHI [JAYER 93]. Efficace sur des images de résolution décimétrique, ce type de méthode n'a pas donné d'amélioration sur nos images par rapport aux méthodes basées sur la détection des contours de zones homogènes.

Parallèlement, les premières bases d'une approche multi-résolutions ont été proposées [JAYER 93], et une implantation d'une structure de quad-tree destinée à accueillir le processus a été réalisée.



Le choix des paramètres texturaux permettant la séparation des principaux thèmes d'intérêt (forêts, vignes, vergers, zones bâties) reste toutefois le principal problème. En fin d'année, on a entrepris un test plus systématique des caractérisations possibles, comprenant l'utilisation des statistiques de deuxième ordre (matrices de cooccurrences).

L'année 1994 sera avant tout consacrée à ce problème :

- définition d'une méthodologie de test pour évaluer le pouvoir séparateur des paramètres texturaux,
- choix d'un jeu de paramètres sur une gamme de résolutions.

La phase de segmentation utilisant ces paramètres sera abordée en fin d'année.

## Référence

[JAYER 93] R. Jayer : *Segmentation des Images Aériennes et Interprétation de la Végétation*, rapport interne, IGN, Service de la Recherche, laboratoire MATIS, février 1993.

## D.1.15. Extraction du réseau hydrographique

par Yanli QIAN et Olivier JAMET

Cette étude est réalisée dans le cadre d'une thèse financée par l'IGN (direction Georges STAMON, Université Paris 5). L'objectif est la restitution tridimensionnelle du réseau hydrographique pour l'aide à la saisie de la BDTopo.

Les méthodes envisagées consistent en une première détection sur un Modèle Numérique de Terrain (MNT) calculé par corrélation automatique sur un couple de photographies aériennes, avec vérification et complément par analyse des images d'origine.

Pour la première détection sur MNT, on a envisagé deux types d'approche :

- détection par des modèles d'écoulement des eaux sur le relief [IGN 93],
- détection par analyse de la courbure locale.

Aux résolutions de travail (de l'ordre du mètre) les procédures d'écoulement produisent des résultats très bruités, à la fois au niveau de la géométrie du réseau extrait (ce qui n'est pas très gênant), et de sa topologie : la végétation n'est plus négligeable et, même dans des zones à fort relief, peut conduire à des dérives importantes des détections.

Les détections locales, effectuées à l'aide d'opérateurs de morphologie mathématique appliqués sur le MNT, apportent une information complémentaire intéressante. Si elles n'ont aucun caractère d'exhaustivité et présentent un fort taux de sur-détection, elles ne présentent pas d'effet d'accumulation d'erreurs comme les procédures d'écoulement.

La variabilité des images rend toutefois difficile l'extraction sans apport d'information externe. On envisage donc pour la suite l'utilisation de cartes scannées (la carte à l'échelle du 1 : 25 000 étant effectivement utilisée par les opérateurs dans le processus actuel de production pour lever les ambiguïtés d'interprétation), qui serviraient de base à l'extraction de la topologie du réseau, les images n'étant utilisées que pour l'amélioration de la qualité géométrique du résultat. On utilisera alors à la fois les détections par écoulement et les détections locales pour repositionner le réseau par des méthodes du type des contours actifs.

Parallèlement, en dehors de la problématique liée à la BDTopo, des travaux ont été effectués pour l'extraction des réseaux sur MNT à des résolutions plus faibles. On a constaté sur les algorithmes d'écoulement jusqu'alors utilisés [IGN 93] des phénomènes de dérive liés à la discrétisation des images. Ces dérives proviennent d'un choix local de la direction d'écoulement entre 8 directions possibles. Certains auteurs ont proposé des modèles d'écoulement sans discrétisation des directions, par interpolation locale de la pente : ces méthodes imposent le choix de points de départ, et rendent difficile la résolution des cuvettes locales (voir la comparaison des travaux de S. RIAZANOFF et de H. LE MEN [IGN 93, LE ROUX 93]). On a proposé une méthode d'écoulement n'imposant pas de choix de direction locale. Cette méthode a été utilisée dans le cadre d'une tentative de modélisation des crues de Vaison la Romaine de septembre 1992 [LE ROUX 93].

## Références

[IGN 93] *Bilan de la Recherche 1992* : rapport d'activité, IGN, Service de la Recherche, Bulletin d'Information de l'IGN, n° 61, pp. 27-28, 1993.

[LE ROUX 93] D. Le Roux : *Modélisation des Ecoulements sur un Modèle Numérique de Terrain*, rapport de stage, IGN, Service de la Recherche, juillet 1993.

# Interprétation des cartes scannées

---

*Cette étude fait l'objet d'une thèse financée par le Ministère de la Défense (EMAT/CERSAIT/BAE), co-dirigée par l'Université de PARIS 5 (Georges STAMON) et l'IGN (Hervé LE MEN). Outre les activités de recherche mentionnées ici, une industrialisation de la phase de classification de cartes papier scannées en RVB (travaux de recherche 1991) a été réalisée et livrée à la SGM (Section Géographique Militaire).*

## D.1.16. Toponymie

par Marc PIERROT DESEILLIGNY

L'identification des caractères est le thème auquel il a été consacré le plus d'efforts cette année. Les tests ont été effectués à partir de planches-mères de cartes IGN, scannées à un pas de 50 microns.

Pour les écritures horizontales, le problème de la reconstruction de chaînes cohérentes à partir des hypothèses faites à bas niveau, et celui de la recherche des caractères connectés au reste de la carte ont été résolus de manière satisfaisante [DESEILLIGNY 94]. Les algorithmes développés sur une carte à l'échelle du 1 : 50 000 ont ensuite été testés sur une carte à l'échelle du 1 : 25 000. Sur ce type de cartes, on obtient déjà des résultats de fiabilité compatible avec les spécifications de la Base de Données de Toponymes (BDNymes) de l'IGN.

Les étapes d'analyse à bas niveau (décomposition en particules connexes) et de chaînage ont été généralisées aux écritures obliques. Les résultats semblent suffisants, mais n'ont pas encore été précisément quantifiés. Il reste à généraliser la recherche des caractères connectés au reste de la carte. On s'attend à rencontrer un problème très difficile, notamment pour les chaînes courbes. Il est possible que, dans une application opérationnelle, ces dernières donnent lieu à une vérification systématique.

Les prolongement de cette recherche dans le cadre de la thèse concernent l'utilisation des toponymes pour valider les interprétations des autres couches.

## Référence

[DESEILLIGNY 94] M. Pierrot Deseilligny, H. Le Men & G. Stamon : *Extraction et Identification de Chaînes de Caractères dans le Contexte Cartographique*, 9ème Congrès RFIA, Paris (F), 11-14 janvier 1994, AFCET, pp. 545-556.

## D.1.17. Thèmes planimétriques

par Marc PIERROT DESEILLIGNY

Deux thèmes cartographiques ont été principalement abordés en 1993 :

- la vectorisation des zones de végétation,
- la vectorisation du bâti.

L'étude des zones de végétation a été réalisée dans le cadre d'un stage de DEA [NEBBIOSO 93]. Les documents traités sont des planches-mères de cartes de l'IGN à l'échelle du 1 : 25 000 (planches de vert). Les tests effectués ont porté sur des méthodes de corrélation, d'analyse des niveaux de gris moyens, et de recherche des périodicités dans une décomposition en particules connexes. Les méthodes retenues sont fondées sur des techniques de morphologie mathématique, et donnent des résultats intéressants pour la vectorisation de zones tramées. Les méthodes développées restent toutefois liées au type de carte traitée.

La vectorisation de zones représentées sous forme de poncifs a été très peu abordée.

Cette étude devrait se prolonger en 1994, sous la forme d'une thèse d'université. La recherche portera sur la mise au point de méthodes génériques permettant un apprentissage sur la légende, quel que soit le type d'édition.

La vectorisation du bâti a été abordée en fin d'année, et il est trop tôt pour en tirer des conclusions.

Les prolongement de la thèse porteront principalement sur :

- la généralisation à des cartes IGN du travail réalisé sur le réseau routier des cartes JOG [DESEILLIGNY 93],
- la création de liens topologiques entre les éléments des différentes couches (en particulier entre les noms de route et le réseau extrait), afin de fiabiliser les extractions.

## Références

[DESEILLIGNY 93] M. Pierrot Deseiligny, H. Le Men & G. Stamon : *Map Understanding for GIS Data Capture Algorithms, for Road Network Graph Reconstruction*, Int. Conf. Document Analysis and Recognition, Tsukuba (Japon), octobre 1993.  
[NEBBIOSO 93] K. Nebbioso : *Vectorisation des Zones de Végétation à partir de Planches-Mères de Cartes IGN*, rapport de DEA de l'Université de Paris 12, septembre 1993.

## D.1.18. Interprétation conjointe de carte et d'image aérienne

par Philippe GUÉRIN, Olivier JAMET et Sylvain AIRAULT

Dans le prolongement des travaux de Marc PIERROT DESEILLIGNY, et dans l'optique d'une utilisation des outils de lecture des cartes scannées pour la saisie de la Base de Données Topographique de l'IGN, une thèse a débuté au laboratoire MATIS en fin d'année sur l'interprétation conjointe de carte et d'image (dirigée par Henri MAÎTRE, ENST, financée sur bourse IGN).

L'objectif de la thèse est d'utiliser la carte pour obtenir une interprétation plus aisée des thèmes cartographiques, et un couple stéréoscopique d'images aériennes pour d'une part, vérifier l'actualité des données de la carte, et d'autre part, recalculer une géométrie des objets conforme aux spécifications de la base (précision métrique).

Le thème principalement étudié est le réseau routier. L'accent est mis sur la complémentarité des supports de traitement pour la validation des interprétations automatiques effectuées.

## D.1.19. Contrôle géométrique de la planimétrie d'une carte ou d'une base de données vectorielles

par Philippe HOTTIER

Rappelons que l'action de recherche a porté sur deux méthodes : la première est le contrôle ponctuel, classique mais avec certains aspects très mal connus, et qui à notre avis méritaient d'être étudiés à fond; la seconde est nouvelle: il s'agit du contrôle "linéaire" basé sur l'usage de la distance de HAUSDORFF.

D'après le Professeur LAURINI (premier rapporteur externe) *ce travail indique une direction extrêmement fructueuse*; pour le Professeur MÜLLER (deuxième rapporteur externe) il juge *particulièrement intéressante*, la découverte du rôle caché mais très présent de la dissymétrie carte-référence (la carte simplifie la réalité) dans la méthodologie du contrôle.

Dans les deux méthodes, le contrôle se solde par au moins deux chiffres : l'estimation de l'EMQ planimétrique (erreur moyenne quadratique si la référence est suffisamment exacte, sinon écart moyen quadratique et :

- le *taux de rejet* pour le contrôle ponctuel (pourcentage de points hors tolérance),
- le *taux d'accord* du tracé carte avec le tracé référence pour le contrôle linéaire.

Un point essentiel est qu'il n'y a aucun recours dans les deux méthodologies présentées à des *standards à priori* pour détecter les points ou portions de tracé hors tolérance; ces tolérances sont estimées par des moyens purement *internes*.

Bien entendu on a vérifié que les estimations de l'EMQ planimétrique concordent par l'une ou l'autre méthode; ceci a été fait à la fois sur des simulations et sur des échantillons réels (bâti BDTopo comparé à une saisie au 1 : 8 000).

Le problème de la dissymétrie carte-référence surgit même en contrôle ponctuel : chercher les homologues de points-référence sur la carte, peut, dès qu'il s'agit d'objets complexes, accroître l'EMQ de façon considérable; ce fait a été signalé à la production (il implique que les points à contrôler soient choisis **au hasard sur la carte** et non sur le terrain...); quand cette précaution est prise l'estimation est la même que par le contrôle linéaire.

La méthode du contrôle linéaire fait d'ailleurs intervenir de façon très explicite cette dissymétrie : en effet pour se débarrasser des questions de forme et de taille des objets et pour pouvoir estimer des tolérances de rejet on est obligé de recourir à des simulations; il convient alors, ce qui paraît paradoxal à prime abord, de brouter les sommets de l'objet-carte (après y avoir introduit des points supplémentaires sur les plus longs côtés) avec l'*EMQ-carte* pour obtenir l'*objet-référence simulé* et l'objet-carte (sans les points supplémentaires) avec l'*EMQ-référence* pour obtenir l'*objet-carte simulé*.

Signalons encore quelques points importants qu'ont mis en évidence cette étude (qui a été très longue et qui n'est pas encore terminée) :

- il est vain de chercher à contrôler des objets (par exemple des bâtiments); en effet les objets compliqués sont presque toujours *faux* au moins dans une de leurs parties. C'est pourquoi on a fini par comprendre que c'était *le taux d'accord du tracé-carte avec la référence* qui était l'indicateur valable et non le nombre d'objets dans les tolérances,

- la "régularisation" des contours qui consiste à couper (tout en les mémorisant pour en déduire les taux d'accord) les parties discordantes de contours homologues est l'opération homologue de détection des points hors tolérance en contrôle ponctuel,

- cependant le taux d'accord est une quantité d'interprétation évidente; ce n'est pas du tout le cas du taux de rejet : dire qu'avec un EMQ planimétrique de 1,10 m, on a un taux d'accord tracé carte avec la référence de 92% est certainement plus clair que de dire qu'avec le même EMQ, on a un taux de rejet de 15% car c'est un tracé que l'on contrôle non des points. D'ailleurs l'impossibilité d'interpréter clairement le taux de rejet est très probablement lié au fait que la méthode du contrôle ponctuel ne permet pas de faire intervenir explicitement la dissymétrie carte-référence,

- la méthode du contrôle linéaire devrait permettre en principe de reconnaître en aveugle laquelle de deux cartes, *y compris dans le cas d'un égal degré de généralisation*, est la meilleure (donc par exemple de déceler des contrefaçons grossières); ceci n'a pu être vérifié que sur des simulations.

Les travaux en cours et les points qui restent à examiner pour la méthode du contrôle linéaire sont les suivants :

- écriture d'interfaces TURBOVISION (qui rendent l'abord utilisateur très convivial) pour les trois logiciels de la méthode du contrôle linéaire (phase en cours d'achèvement) :

- logiciel d'appairage APPAIRA, permettant d'appairer interactivement objets-carte et objets-référence,

- logiciel de régularisation SAIVISTA dont la fonction principale est de permettre de "régulariser" interactivement des couples de contours homologues,
- le logiciel de calcul EXDECA.

- le systématisme : on s'est aperçu récemment que la mise en évidence du systématisme (global ou régionalisé) pourrait très probablement être intégrée à la méthode; mais ceci demande validation,
- il est prévu d'appliquer prochainement la méthode à des échantillons BDCarto,
- l'extension de la méthode à l'altimétrie (prévue dès l'an dernier) n'a pu être abordée (la teneur du problème sans doute exposé de façon trop concise n'a du reste pas été comprise des censeurs du Comité Scientifique et Technique); il y a deux directions à approfondir selon la même démarche qu'en planimétrie : contrôle linéaire altimétrique (par exemple bâti, tronçons routiers...) et contrôle altimétrique de surface (qui impose lui une refonte informatique complète et assez délicate),
- le contrôle linéaire est certainement plus riche en possibilités que le contrôle ponctuel; mais peut-il lui être substitué? La question est posée ...

## D.1.20. Qualité de l'occupation du sol

par Hervé LE MEN et Olivier JAMET

Les outils d'évaluation de la qualité des données d'occupation du sol élaborés en 1991 [IGN 92] ont été adaptés et complétés pour effectuer un contrôle qualité de la couche d'occupation du sol de la BDCarto (Base de Données Cartographique de l'IGN). Cette couche correspond à une cartographie de l'occupation du sol suivant une légende à 13 postes, établie par interprétation visuelle d'images SPOT. L'objectif de l'expérience était la comparaison du processus de saisie employé à l'IGN avec celui proposé par plusieurs industriels prestataires de travaux cartographiques. Quatre industriels ont participé à l'expérience. Les interprétations ont, dans tous les cas, été effectuées sur ortho-images SPOT-XS, suivant des méthodes entièrement manuelles ou comportant une part d'automatisation (classifications, segmentations).

Trois sites-test étaient sélectionnés, correspondant à trois types de paysage distincts (paysage rural à parcellaire moyen, paysage vinicole, paysage de montagne), et couvrant chacun la surface d'une demi-feuille à l'échelle du 1 : 50 000.

L'évaluation des interprétations a été faite par comparaison exhaustive à une référence, établie par photo-interprétation (de photographies aériennes à l'échelle du 1 : 30 000) et contrôle terrain. Afin de garantir une meilleure précision des références, les seuils de surface minimale de représentation des thèmes ont été divisés par deux (par rapport aux seuils imposés pour les interprétations évaluées).

La méthode de comparaison repose sur une mise en correspondance des objets représentés sur la référence et de ceux représentés sur l'interprétation. Cette mise en correspondance permet :

- de distinguer les différentes composantes de l'erreur (position des frontières, omissions, commissions, erreur d'attribut),
- de prendre en compte les spécifications de saisie (et donc de comparer deux documents correspondant à des cartographies à des échelles différentes).

Les mesures effectuées se sont montrées pertinentes. D'une part, elles permettent de classer les processus d'interprétation par ordre de qualité. Le processus IGN reste le meilleur ou parmi les deux meilleurs sur les trois sites. D'autre part, elles ont mis en évidence l'inadéquation des spécifications de la couche d'occupation du sol de la BDCarto au support d'interprétation choisi : les taux d'erreurs s'avèrent très fortement liés à la taille des parcelles (les plus petites étant les plus entachées d'erreurs), et l'un des postes de la légende joue un rôle de thème absorbant (une forte proportion des parcelles indéfinies lui est affectée). Ce sont bien les spécifications qui sont en cause, dans la mesure où l'on retrouve les mêmes phénomènes chez tous les participants [LE MEN 93].

Cette expérience a donc permis à l'IGN d'initier une redéfinition des spécifications de contenu de la couche d'occupation du sol de la BDCarto. Les nouvelles spécifications seront prises en compte dès la *version 2* de la base (courant 1994), et assureront un niveau de qualité supérieure aux données.

La méthodologie de contrôle des données d'occupation du sol employée ici a par ailleurs montré tout son intérêt. En l'état actuel, elle fournit essentiellement un moyen de comparer des processus. Des indicateurs sur la qualité absolue des interprétations évaluées peuvent toutefois en être déduits, moyennant quelques précautions sur le processus d'échantillonnage des sites-test.

### Références

[IGN 92] *Bilan de la Recherche 1991* : rapport d'activité, IGN, Service de la Recherche, Bulletin d'Information de l'IGN, n° 60, 1992.

[LE MEN 93] H. Le Men & O. Jamet : *Qualité de processus d'interprétation et qualité des résultats : exemple en cartographie d'occupation du sol*, Colloque ACI, Tunis (TU), décembre 1993 (actes à paraître).

## D.1.21. Qualité des MNT

par Edouard BEAUVILLAIN

La définition de critères de qualité des Modèles Numériques de Terrain (MNT) est liée à l'utilisation que l'on souhaite faire de ces données [BEAUVILLAIN 93-2]. Dans cette recherche, on se place avant tout du point de vue des utilisations cartographiques des MNT, l'objectif concret étant de mettre au point des mesures permettant de qualifier des MNT issus de corrélation automatique pour la production des courbes de niveaux. L'activité de l'année a été essentiellement bibliographique et expérimentale.

Au niveau de la bibliographie [BEAUVILLAIN 93-2], peu d'auteurs ont abordé le sujet, et la plupart des travaux ne propose pas d'autres méthodes d'évaluation que les mesures statistiques classiques (erreur moyenne quadratique, par exemple).

Au niveau expérimental, des évaluations de résultats de corrélation automatique ont été effectuées dans le cadre d'une étude sur les différentes configurations stéréoscopiques possibles pour le futur satellite SPOT-HRG (effectuée en collaboration avec le CNES) [BEAUVILLAIN 93-1]. Ces évaluations reposaient sur des contrôles statistiques (erreurs moyennes algébrique et quadratique, corrélation de l'erreur avec la pente...) par comparaison à un MNT calculé par interpolation des courbes de niveau de la Base de Donnée Topographique de l'IGN. Elles ont mis en évidence la difficulté d'une comparaison entre des données provenant de deux sources différentes, due principalement à la différence des niveaux de généralisation des données évaluées et de la référence.

Dans le cadre des applications visées pour l'IGN, le problème peut être reformulé ainsi : on cherche à valider un MNT par comparaison à une référence manuelle à plus grande échelle. Le choix des mesures à effectuer dépend des spécifications que l'on souhaite vérifier. La difficulté réside plutôt dans la différence d'échelle des deux jeux de données à comparer, qui impose de modéliser le processus cartographique de généralisation pour que l'évaluation soit significative.

Ce problème a été jugé hors de portée des moyens mis en oeuvre sur cette recherche actuellement. On limitera donc les objectifs de l'année à venir au développement d'outils de contrôle peu sensibles à la généralisation, répondant aux spécifications de qualité des courbes de niveaux de la BDTopo (tolérance sur l'altitude mesurée sur les courbes, erreur moyenne quadratique sur des points particuliers), et l'on assurera un suivi des activités européennes sur le sujet (lancement en 1993 d'un groupe de travail OEEPE sur la généralisation des MNT).

### Références

[BEAUVILLAIN 93-1] E. Beauvillain : *Evaluation de la précision des Modèles Numériques de Terrain obtenus par corrélation automatique dans différentes configurations stéréoscopiques de l'instrument HRG*, rapport final étude CNES, IGN, Service de la Recherche, laboratoire MATIS, février 1993.

[BEAUVILLAIN 93-2] E. Beauvillain : *Présentation des Recherches sur la Qualité des MNT*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne laboratoire MATIS, mai 1993.

## D.1.22. Tests de restitution numérique

par Christophe DEKEYNE

### D.1.22.1. Contexte - Objectifs

Le projet "Développement de la BDTopo" cherche à évaluer l'utilisation de la photogrammétrie numérique pour la saisie BDTopo. Cette action de recherche, menée conjointement avec ce projet et le laboratoire MATIS, avait pour objectif de mener une expérience de restitution numérique avec les moyens matériels du MATIS (restituteur numérique T10N de MATRA CAP SYSTEME), à l'aide d'un opérateur de restitution BDTopo.

Cette étude devait fournir des précisions significatives sur les points suivants :

- confort et aisance de l'opérateur en restitution numérique,
- qualité du logiciel de mise en place,
- intérêt de l'amélioration d'image,
- intérêt du pointé sub-pixellaire,
- intérêt de l'asservissement du z,
- qualité géométrique des données,
- qualité sémantique des données,
- choix du pas de scannage,
- conséquences sur la productivité.

Le programme de travail prévoyait le choix d'une zone (modèle déjà restitué en BDTopo), le choix d'un opérateur, le scannage du couple à 25 et 50 microns, la mise en place du couple aux deux pas de scannage, la recherche de traitements numériques applicables aux images pour en améliorer l'exploitation en restitution, la restitution planimétrique, puis altimétrique de l'ensemble du couple au pas de 50 microns, une comparaison qualitative des données restituées, avec les données issues de la chaîne classique.

### **D.1.22.2. Activités en 1993**

Les tests de mise en place et de restitution sur le T10N se sont déroulés comme prévu. Des indicateurs intéressants sur le choix d'un pas de scannage approprié, le confort et l'aisance de l'opérateur ont pu être dégagés. Il n'y a pas eu de comparaisons géométrique et sémantique entre les différents jeux de données. L'asservissement du z n'a pas été étudié.

#### **Évaluations des mises en place**

Le temps consacré aux mesures et au calcul de la mise en place est en tout point comparable à celui passé sur un appareil analytique de la BDTopo.

Si les résultats sont inférieurs à ceux obtenus sur un des appareils analytiques de la BDTopo pour les jeux d'images à 50 microns, ils sont à peu près comparables dans le cas des images à 25 microns. L'image à 25 microns s'apparente assez bien aux négatifs qui sont utilisés par les opérateurs dans les Lignes de Production Intégrées (LPI). Le pointé sub-pixellaire n'apporte rien sur les images à 25 microns tant au niveau du calcul qu'au niveau du confort de pointé de l'opérateur.

Les contrôles de mise en place n'ont pas donné de bons résultats, ce qui était le cas avec ce modèle sur appareils analytiques. Certains points de contrôle, que le croquis terrain situait précisément sur le cliché argentique devenaient totalement indistincts après le scannage à 50 microns.

En conclusion, l'utilisation d'une image scannée à 25 microns semble donner des résultats conformes à ceux obtenus avec des appareils analytiques.

#### **Confort d'utilisation (mise en place et saisie)**

L'importance du positionnement de l'appareil par rapport à l'éclairage s'est révélé primordial. Très gêné par les reflets au Laboratoire MATIS, l'opérateur n'a pas ressenti de difficultés d'interprétation lors d'opérations similaires effectuées chez MATRA. D'autres éléments perturbent la saisie photogrammétrique :

- la position de l'écran est trop basse au niveau des yeux,
- le ballonnet apparaît flou quand on se trouve à une distance correcte de l'écran (position de travail). Il devient net quand on se rapproche à 10 cm environ,
- le mouvement n'est pas progressif et gêne le pointé.

Certaines configurations du terrain sont "déformées" après scannage et/ou le scanneur utilisé ne donne pas une qualité suffisante pour la précision espérée.

Le pointé sub-pixellaire ne donne pas de résultats significativement meilleurs que le pointé normal. De plus il gêne l'opérateur pendant le déplacement car il clignote et ralentit le mouvement. Cependant, il facilite un peu l'interprétation.

### **D.1.22.3. Prolongements envisagés**

Cette étude, si elle ne permet pas de conclure catégoriquement sur la qualité d'une mise en place avec le T10N ou des données restituées, ni sur l'intérêt du pointé subpixellaire, permet cependant de dégager des points importants pour la suite des tests du numérique.

Il serait intéressant de refaire cette expérience avec un couple de photos mieux équipées en points de contrôle (nombre et définition). L'idéal serait de définir de nombreux points-terrain sur un couple au paysage bien diversifié.

Par ailleurs, l'étude ayant mis en valeur l'importance de la qualité du scannage, on aura intérêt à utiliser le scanneur le mieux adapté à nos besoins. Il est encore difficile de définir quel sera ce scanneur idéal.

Les comparaisons géométriques des différentes saisies, ainsi que les prolongements évoqués seront repris par le projet BDTopo en 1994 dans le cadre de son étude sur la restitution numérique, où un atelier pilote devrait être acquis en milieu d'année.

## D.1.23. Etude préalable pour un nouveau logiciel de saisie photogrammétrique de données TRAPU

par Martine DUPUIS

### D.1.23.1. Contexte

La saisie photogrammétrique des données TRAPU est actuellement réalisée sur appareil de restitution analogique intégré dans un environnement matériel (micros PC LOGABAX) lié au logiciel d'aide à la restitution numérique CHARLOTTE.

Elle est assistée par un logiciel spécifique développé dans cet environnement.

Le logiciel CHARLOTTE vieillissant est progressivement remplacé, dans tous les ateliers de restitution du service, par un logiciel basé sur MICROSTATION, implanté sur station sous UNIX. Les derniers équipements seront implantés fin 1994.

Dans un proche avenir, le logiciel de saisie TRAPU ne pourra donc plus être opérationnel.

### D.1.23.2. Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est de proposer diverses méthodes de saisie photogrammétrique de données TRAPU, s'appuyant sur des matériels et logiciels disponibles au Service de Photogrammétrie et de Cartes Numériques (SPCN) :

- appareils de restitution analogiques équipés de stations sous UNIX supportant MICROSTATION,
- appareils de restitution analytiques ZEISS de type P1 supportant le logiciel PHOCUS.

### D.1.23.3. TRAPU et les objectifs du futur logiciel de saisie

TRAPU désigne un ensemble de logiciels, de saisie photogrammétrique, de traitement et de visualisation (sur VAX STATION), ainsi qu'un format de données qui lui est propre, et qui permet de décrire des données tridimensionnelles volumiques.

Les objets géométriques de base sont des volumes convexes, des faces convexes ou des graphes, qui permettent de décrire les sites : bâtiments, végétation, voirie etc ...

Les objectifs fixés pour le futur logiciel de saisie TRAPU concernent à la fois la méthodologie de saisie photogrammétrique proprement dite, mais également le format et le contenu des données sauvegardées.

Il est souhaité que le logiciel s'intègre le mieux possible dans les chaînes de restitution existantes. Un suivi graphique en continu de la saisie serait également souhaité. La géométrie des objets doit être constituée et contrôlée dès la saisie. Les éléments sauvegardés doivent avoir une topologie cohérente. Les fichiers de données restituées doivent pouvoir être traitées et visualisées par les programmes de la chaîne TRAPU sur VAX STATION.

### D.1.23.4. Les solutions proposées

L'utilisation des outils proposés en standard par les deux logiciels de restitution du SPCN ne permet pas d'obtenir de données satisfaisantes pour TRAPU. Des développements informatiques sont nécessaires. Du fait de l'importance des développements induits, une configuration s'appuyant sur une configuration matérielle de type PC a été envisagée.

#### Les trois solutions envisagées :

- *première solution* : saisie sur appareil analogique, application développée dans l'environnement de MICROSTATION.
- *deuxième solution* : saisie sur appareil analytique de type P1, application extérieure à PHOCUS.
- *troisième solution* : saisie sur appareil analogique, équipés de PC, le logiciel implanté serait le logiciel actuel réadapté au nouvel environnement matériel.

#### Les coûts associés au développement d'un logiciel de saisie TRAPU :

- *première solution* : de l'ordre de 300 KF (formation à MICROSTATION comprise).
- *deuxième solution* : de l'ordre de 260 KF (formation à PHOCUS comprise).
- *troisième solution* : de l'ordre de 180 KF (coût d'achat des matériel et logiciel nécessaires au fonctionnement de l'application non compris et se montant à environ 100 KF).

Aucune solution n'est immédiate.



Les solutions proposées ont des coûts comparables.

Elles nécessitent toutes trois des adaptations ou des développements importants. Leurs différences essentielles portent sur la formation initiale requise pour le développement, plus ou moins conséquente, sur leur intégration dans la production du SPCN, et leur caractère viable à long terme.

Les deux premières, MICROSTATION et P1, représentent des coûts comparables en développement. La connaissance approfondie de l'un de ces deux logiciels de restitution à l'occasion des développements TRAPU, pourra bénéficier aux autres productions du SPCN : MICROSTATION dans le cadre de la cartographie, PHOCUS dans le cadre de l'aérotriangulation et des travaux spéciaux (pour ces derniers, le SPCN ne dispose plus de personnel formé à PHOCUS).

La solution MICROSTATION est la seule qui fournisse un logiciel intégré dans l'environnement de restitution de cartographie classique, avec un suivi graphique élaboré. Cependant, elle nécessite avant tout une très bonne connaissance du langage de développement à employer (MDL).

La maintenance du logiciel à long terme, dans le cas où des fonctionnalités particulières étaient requises pour un chantier particulier, sera difficilement envisageable, du fait de la nécessité d'une connaissance pointue de MICROSTATION.

La solution P1 présente l'avantage de produire TRAPU au sein d'une unité en liaison directe avec l'unité des travaux spéciaux photogrammétriques. La cohérence de la chaîne complète TRAPU (saisie et traitements) serait renforcée par l'utilisation de matériels et langages de développement communs. Ce logiciel pourrait être aisément maintenu.

Cependant, en raison de la nécessité de développer l'intégralité de la partie graphique de la saisie, celle-ci sera probablement moins sophistiquée que sous MICROSTATION, mais pourra cependant l'être plus que dans le logiciel actuel. Un inconvénient majeur de cette solution concerne la gestion de la saisie des chantiers TRAPU : le SPCN ne dispose que de deux appareils analytiques de type P1, qui sont destinés en priorité aux mesures liées aux calculs d'aérotriangulation.

La solution PC semble nettement plus facile à aborder, ne nécessitant pas la connaissance supplémentaire d'un logiciel de restitution. Ce logiciel pourrait être maintenu. Son coût n'est toutefois pas négligeable. De plus, elle n'est pas intégrée dans les processus actuels de restitution. L'équipement particulier des appareils de restitution (matériel et logiciel) limitera le nombre d'appareils disponibles pour la saisie TRAPU et compliquera la gestion de ces types de chantiers. A moins de développements supplémentaires, la partie graphique reste assez rudimentaire.

La solution MICROSTATION, répondant le mieux aux objectifs fixés, a été retenue par le SPCN (réunion décembre 1993).

## Référence

[DUPUIS 94] Martine Dupuis : *rapport d'étude préalable*, IGN, mars 1994.

## D.2.1. Mise au point et exploitation des données d'une caméra à comptage de photons pour l'astronomie

par Christian THOM

### D.2.1.1. Résultats

Les travaux de l'année 1993 ont été assez perturbés par les problèmes financiers de l'ESO (European Southern Observatory) concernant la réalisation du VLT (Very Large Telescope). Notamment, les études concernant la partie interférométrie ont été suspendues. Les incertitudes qui ont régné durant une bonne partie de l'année ont aussi entravé considérablement nos travaux, qui se sont donc limités à des améliorations sur la caméra à comptage de photons existante (CP 40).

### Publications

[THIÉBAULT et al 94] E. Thiébaud, L. Devaney, R. Foy, B. Debatz, A. Blazit, D. Bonneau, J. Bouvier & Ch. Thom : *The Extended Ha Component of T Tau*, Symposium UAI 158 : Very High Angular Resolution Imaging, Editors : G. Robertson & WJ. Tango, 1994.

## D.2.2. Etude des possibilités métriques d'un capteur à balayage (prise de vue stéréoscopique avant-arrière)

par Philippe HOTTIER

La démarche suivie est la suivante : simulations d'images de 1 à 3 km de côté pour un capteur de résolution cinq mètres en visée verticale (en fait la résolution est un paramètre dont on peut faire varier la valeur); les données sont :

- d'une part une matrice de radiométries **naturelles** (scannage d'un cliché aérien à grand échelle),
- d'autre part un MNT.

La radiométrie naturelle est alors "plaquée" sur le MNT; les traces au sol des récepteurs élémentaires de la barrette (c'est à dire leurs intersections avec la surface du MNT) sont d'autre part calculées pour une configuration de prise de vue donnée (tous les paramètres désirables peuvent être introduits); les radiométries des pixels de l'image satellite sont ensuite calculées à partir de ces traces et de la radiométrie naturelle-terrain (par convolution discrète).

Avec une paire d'images de ce type, correspondant à un rapport base/éloignement donné, on peut alors étudier les possibilités de restitution, soit par corrélation visuelle, soit par corrélation automatique; on a ici utilisé au maximum les ressources offertes par la connaissance précise de la configuration de prise de vue : à tout pixel d'une image est associé sur l'autre un *segment de localisation*, déduit rigoureusement de la géométrie (à la différence de la méthode introduite à l'IGN par M. MASSON D'AUTUME, il n'y a pas de rééchantillonnage par épipolaires, donc aucune déformation du modèle à corriger par la suite).

Le gros avantage de la méthode est que tous les paramètres peuvent être introduits et que les estimations de précision peuvent porter sur des milliers de points (on possède en effet l'altitude *vraie* en tout point). Grâce à elle un phénomène intéressant a pu être noté : le fait, qui ne nous semble pas avoir été signalé, de ne corréliser que des paires de pixels induit un fort systématisme "régionalisé"; une solution parfaite et très simple a été trouvée à ce problème; l'amélioration constatée sur l'EMQ altimétrique est spectaculaire.

Le même type de solution est en train d'être testé pour tenter de résoudre les problèmes surgissant des dissemblances des images provenant du relief (les déformations dans le cas de prise de vue avec rapport base/éloignement voisin de 1 peuvent être très grandes).



*figure D.2.2.1. : exemple des possibilités du logiciel, parties vues parties cachées ; ce cas (empilement de 64 parallélépipèdes disjoints, 384 polygones) est celui nécessitant le plus long temps de calcul (presqu'une minute sur un 486-50 mgH).*

Une autre direction est en train d'être explorée : simulation de sur-sol (bâti) sur ces images; mais les travaux d'approche très largement entamés ne sont pas encore terminés; le principe retenu est le suivant : les parties vues *selon la perspective sub-cylindro-conique* du capteur de l'ensemble de bâtiments sont superposées à la radiométrie naturelle; on relit alors la radiométrie de l'ensemble et on calcule selon la démarche décrite plus haut les radiométries des pixels-capteur.

## D.2.3. Réalisation d'une station LASER ultra-mobile

*par Michel KASSER et William GRUNSPAN*

### D.3.2.1. Résultats

Les premiers résultats de la station LASER datent de novembre 1992. La phase d'étude, menée conjointement par le CNES, l'OCA et l'IGN s'achevait. Certains problèmes pour la mise en exploitation ont retardé le calendrier demandé par le CNES pour effectuer la calibration de l'altimètre RADAR TOPEX-POSEIDON. Le principal réside dans un défaut de la poursuite motorisée de la tourelle, aggravé par une perte du savoir-faire de la sous-traitance lors du rachat de KERN par LEICA.

Des passages sur satellites obtenus à l'OCA (Grasse) montrent que cet instrument de très petites dimensions obtient les mêmes performances que les meilleures stations LASER grâce à l'utilisation d'une photodiode en mode GEIGER, sensible au simple photon. Le bilan de liaison étant validé, il est maintenant possible d'amener la précision à deux cm au lieu de six aujourd'hui, en réduisant la durée de l'impulsion LASER et en étudiant la statistique de la réponse temporelle de la photodiode en fonction du taux de retour.

La conception optique d'un satellite géodésique destiné à la télémétrie LASER a été définie. Vu le niveau de précision obtenu aujourd'hui, la réponse temporelle des satellites existants devient une source d'erreur importante. Ce satellite de seconde génération est composé de huit coins de cube creux aux sommets virtuels et confondus, de telle sorte que sa réponse temporelle soit parfaite. La contrepartie, peu gênante du fait de la sensibilité actuelle des détecteurs, réside dans un bilan de liaison variable et nul sous certaines inclinaisons.

Les problèmes restant à résoudre sur cette station LASER devraient être éclaircis courant 1994. Le projet changera alors de nature, les modalités d'utilisation de cet instrument nouveau devront être déterminées, avec sans doute la création d'un comité scientifique regroupant des représentants des institutions concernées (CNES, GRGS, IGN).

### Publications

[KASSER, PIERRON 91] M. Kasser & F. Pierron : *Développement d'une station très compacte de télémétrie LASER sur satellites*, ICSO'91, Conférence Internationale d'Optique Spatiale, Toulouse (F), septembre 1991.

[PIERRON, KASSER] F. Pierron & M. Kasser : *Présentation de la FTLRS*, SLR Commission du CSTG, Londres (GB), décembre 1992.

[KASSER] M. Kasser : *Improvement in SLR accuracy, a possible new step*, Proceedings of the 8th International Workshop on SLR Instrumentation, Annapolis, Maryland (USA), May 18-22 1992, NASA conference publication 3214, pp. 8-23 à 8-29.

[GRUNSPAN et al] W. Grunspan, F. Pierron, JF. Mangin, M. Kasser & L. Gosset : *Développement d'une station de télémétrie LASER sur satellites de haute mobilité*, MPST, Commission de l'ISPRS, Val d'Isère (F), janvier 1994.

## D.2.4. Développement d'un procédé de télémétrie LASER aéroportée à champ large

par Michel KASSER, Christian THOM et Olivier BOCK

### D.2.4.1. Résultats

A la suite des simulations concluantes effectuées au cours des années 1991 et 1992, on a estimé le sujet suffisamment copieux pour justifier la réalisation d'une thèse. Un étudiant a donc été recruté à cet effet, et a commencé à expérimenter et à développer le procédé réel au cours de l'année 1993.

L'expérimentation a d'abord nécessité l'acquisition d'un oscilloscope numérique rapide (LECROY 7200) échantillonnant deux signaux jusqu'à un Géc/s. Les premiers essais qui ont été effectués à l'aide d'un LASER YAG de l'IGN (CILAS) ont mis en évidence les limites de celui-ci pour cette application (faisceau multimode et impulsion trop longue : 20 ns). Ce LASER étant tombé en panne au cours de l'année, il a été décidé l'acquisition d'un LASER QUANTEL plus apte à répondre aux besoins (350 mJ et durée de cinq ns). La partie détection a été développée à base d'une photodiode PIN de un cm<sup>2</sup>, quant au système optique, à l'émission la divergence a été obtenue soit à l'aide d'une lentille divergente, soit à l'aide d'un dépoli. Il s'est avéré qu'une optique en réception n'apportait pas un gain significatif, elle a donc réduite à un filtre interférentiel. Divers outils informatiques ont été réalisés pour l'exploitation des mesures : études statistiques des distances mesurées et études de différents traitements d'extraction de la position des réflecteurs.

Dans un premier temps évalué les performances de l'oscilloscope ont été évaluées, dont la précision sur l'échantillonnage est meilleure que 23 ps.

Les essais effectués à l'aide du LASER QUANTEL ont permis de mettre en évidence deux résultats significatifs : d'abord une dispersion sur les distances mesurées de l'ordre de trois cm confirmant les simulations, ensuite un phénomène se traduisant par un biais important sur un ensemble de mesures (environ dix cm). Ces derniers résultats ont conduits à faire une étude plus précise du comportement de l'impulsion émise par le LASER.

Le programme prévu est :

- Pour 1994 : la poursuite de cette caractérisation du LASER et la définition des paramètres nécessaires à l'application, ainsi que le développement d'un prototype embarqué et la réalisation en fin d'année d'une mission aérienne en vue de valider le procédé.

- Pour 1995 : l'exploitation des résultats de la mission de 1994, avec éventuellement les modifications à apporter au prototype; une autre mission sera certainement programmée, peut-être avec d'autres paramètres de vol, et ensuite exploitée. Des premiers contacts seront pris au cours de 1994 et 1995 avec des industriels.

- Pour 1996 : industrialisation, et écriture de la thèse.

### Publications

[KASSER et al] M. Kasser, O. Bellier, Y. Egels, C. Million, Ch. Thom & D. Fourmaintraux : *Etude d'un procédé de télémétries LASER aéroportée sur cibles réfléchissantes terrestres pour la mesure rapide de déformations verticales du sol* rapport IGN SNEA(P), n° 7862, 90 pages, mars 1992.

[BOCK] O. Bock : *Caractérisation de l'oscilloscope numérique LECROY 7200*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne Laboratoire LOEMI, décembre 1993.

[BOCK] O. Bock : *Etude statistique des mesures de distance relative de deux réflecteurs*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne Laboratoire LOEMI, janvier 1994.

par Jean-Philippe LAGRANGE

### Introduction

*Les recherches de ce groupe ont jusqu'à présent été menées essentiellement au sein du laboratoire COGIT. Deux grands axes se dégagent en première analyse : la gestion et la modélisation des données localisées, d'une part, et la généralisation de ces données, en particulier dans le but de produire les séries cartographiques de l'IGN, d'autre part.*

*Le premier thème a donné lieu en 1993 à deux actions de recherche : BDOO et PRECI. L'objectif général est donc de mettre au point des méthodes et des techniques qui permettent de faire face aux besoins prévisibles à terme et d'étudier l'adéquation des techniques orientées-objet comme moyen d'implémentation pour ces techniques. En ce qui concerne le premier point il s'agit de définir une modélisation pour la gestion de données multi-échelles (PRECI) et de mettre au point des techniques pour la superposition de couches, la gestion de la précision (PRECI) ou l'intégration de données multi-sources (ce qui dans ce dernier cas fait partie du thème du multi-échelles). Le deuxième point est centré sur le développement de l'outil GéO<sub>2</sub>, gestionnaire orienté-objet de données géographiques initialement implanté comme sur-couche du SGBD-OO O<sub>2</sub>. Les études citées préalablement font donc logiquement l'objet d'implémentations dans l'environnement GéO<sub>2</sub> (action BDOO), avec dans certains cas une évolution du modèle de GéO<sub>2</sub> (pour gérer les données multi-échelles).*

*Le deuxième thème a été initialement limité à deux actions de recherche : GCALG et GCIA. L'objectif général est de mettre au point des techniques pour automatiser la généralisation, avec une priorité pour la généralisation cartographique nécessaire pour la production des séries standard IGN. Ces recherches regroupent donc :*

- la mise au point d'algorithmes de simplification et de caricature, avant tout pour le routier à petite échelle, et l'évaluation de tels outils sur des lots IGN par le biais d'une boîte à outils interactive développée au sein du laboratoire (AR GCALG),*
- l'étude des techniques orientées-objet et à base de connaissances pour la résolution des problèmes complexes et la gestion du processus (AR GCIA),*
- la mise au point d'outils pour l'automatisation du placement des écritures (AR GCALG).*

*D'une façon générale l'avancement des travaux a conduit à redéfinir certaines actions de recherche pour 1994. En effet, il est apparu que, de par leur développement, ces actions de recherche devaient être subdivisées pour mieux isoler leurs objectifs. Ont été ainsi redéfinies :*

- l'AR PRECI qui sera recentrée sur les problèmes de précision et de superposition en 1994 (en faisant l'objet d'une thèse depuis octobre 1993), une nouvelle AR (MULTI) étant consacrée aux multi-échelles,*
- l'AR GCALG recentrée en 1994 sur les algorithmes de généralisation, les recherches sur le placement des écritures faisant l'objet d'une nouvelle AR dénommée PNOMS (laquelle comprend une thèse démarrée en novembre 1993),*
- les études centrées sur les aspects de modélisation pour la généralisation, initialement conduites dans le cadre de GCIA et GCALG, seront regroupées dans une nouvelle AR GMOD (dont une thèse consacrée à l'orographie démarrée elle aussi en novembre).*

*On peut noter qu'une part significative des recherches sont conduites dans le cadre de collaborations européennes ou nationales. Tout d'abord l'année 1993 a vu la mise en place du Programme National sur les Systèmes d'Information Géographique (PSIG), mise en place à laquelle le laboratoire COGIT et l'IGN ont fortement contribué. Les travaux en matière de SIG sont depuis en grande partie liés à des collaborations dans le cadre de ce programme. Il s'agit au demeurant d'un prolongement naturel des collaborations bilatérales déjà engagées. De même, le laboratoire participe à un projet ESPRIT, AMUSING (multi-échelles, qualité et prototype de SIG-OO), à un projet EUREKA, GENEGIS (généralisation), projets qui ont été lancés en 1992, et va dorénavant participer à un nouveau projet ESPRIT, GéO<sub>2</sub>DIS. On peut enfin citer la participation au groupe de travail sur la généralisation de l'Association Cartographique Internationale (ACI) et la contribution significative à la création d'un groupe de collaboration européenne au sein de l'Organisation Européenne d'Etudes Photogrammétriques Expérimentales (OEEPE), ainsi que l'organisation "locale" d'un séminaire de l'European Science Fondation (ESF) (programme GISDATA) sur la généralisation.*

## D.3.1. Modélisation et gestion de données géographiques

par Laurent RAYNAL

Les SGBDOO (Systèmes de Gestion de Bases de Données Orienté-Objet) offrent des perspectives prometteuses pour la gestion de données géographiques. En particulier, ils permettent d'ajouter à leur structure de base de nouveaux types (tels les types point, ligne ou polygone) et de nouvelles opérations géométriques (intersection, union). Aussi, depuis 1992, un prototype de SGBD Géographique, baptisé GéO<sub>2</sub>, étendant le SGBDOO O<sub>2</sub> (de la société O<sub>2</sub>Technology), est développé au COGIT. Cette tâche a donné lieu à la définition d'un modèle orienté-objet de l'information géographique.

Les travaux effectués en 1993 ont consisté à poursuivre le développement, en particulier, par l'amélioration du modèle de données (remise à niveau par rapport aux articles parus en 1993 [DAVID 93a], [DAVID 93b], [DAVID 93c] et l'intégration de nouveaux outils comme le module de superposition (voir B.6. : GéO<sub>2</sub> : Module de superposition) :

- Une analyse orientée-objet [RAYNAL 93b] à l'aide de la méthode OOA (Object Oriented Analysis) de SHLAER & MELLOR a fourni une vue claire et précise de GéO<sub>2</sub> [SCHORTER 94] distinguant les niveaux d'analyse et de conception en orienté-objet. Ainsi, les étapes et les outils d'analyse orienté-objet ont été mis en évidence [RAYNAL 93a].

- Les mécanismes de généralisation/spécialisation et de propagation ont été introduits dans GéO<sub>2</sub>. Ils permettent d'exploiter les relations de composition qui existent entre les entités (un département est composé de communes) en transférant automatiquement des informations d'un niveau à l'autre (transfert du niveau communal au niveau départemental). De plus, un modèle de localisation a été introduit permettant à l'utilisateur de s'abstraire des mécanismes utilisés pour gérer la localisation des entités géographiques. Ainsi, toute entité géographique peut être localisée à l'aide d'un attribut de type Geometry, ie : class Commune (nom : string, étendue : Geometry).

D'autre part, un test sur le SGBDOO Versant a été effectué. Il s'agissait de réécrire en langage C++ l'application GéO<sub>2</sub> pour ce SGBDOO [GRELOT, CUZON 93]. Cette expérience de programmation à grande échelle (23000 lignes de code, 90 classes implémentées) a mis en évidence des facteurs limitants (lenteur de développement en C++), ce qui accrédite O<sub>2</sub> comme un produit tout à fait adéquat dans le contexte actuel de recherche.

Enfin, GéO<sub>2</sub> est un vecteur de collaboration car il a été diffusé gratuitement dans plusieurs laboratoires de recherche (CNAM-Paris, LRI, Université de Berlin (D), Université de Twente (NL)).

### Publications

[DAVID 93a] Benoît David, Laurent Raynal, Guylaine Schorter & Véronique Mansart : *GéO<sub>2</sub> : Why objects in a geographical DBMS ?*, SSD'93, Singapour (Malaisie), 1993.

[DAVID 93b] Benoît David, Laurent Raynal, Guylaine Schorter & Véronique Mansart : *GéO<sub>2</sub> : Object-Oriented Contribution for a geographical DBMS ?*, DEXA'93, Prague (CS), 1993.

[DAVID 93c] Benoît David, Laurent Raynal, Guylaine Schorter & Véronique Mansart : *GéO<sub>2</sub> : Modélisation objet de données géographiques*, Revue de Géomatique n° 3, 1993.

[GRELOT & CUZON 93] Annie Cuzon & Christophe Grelot : *Portage d'un système d'informations géographiques en O<sub>2</sub>C sur un gérant d'objets compatibles C++*, rapport de stage, DESS Systèmes et Communications Homme-Machine, Paris XI-Orsay, 1993.

[RAYNAL 93a] Laurent Raynal : *Analyse Orienté-Objet à l'IGN*, IGN, rapport UFSI Analyste 1993.

[RAYNAL 93b] Laurent Raynal : *GéO<sub>2</sub> au travers de OOA*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne COGIT, 1993.

[SCHORTER 94] Guylaine Schorter : *Manuel GéO<sub>2</sub>, version 5*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne COGIT, janvier 1994.

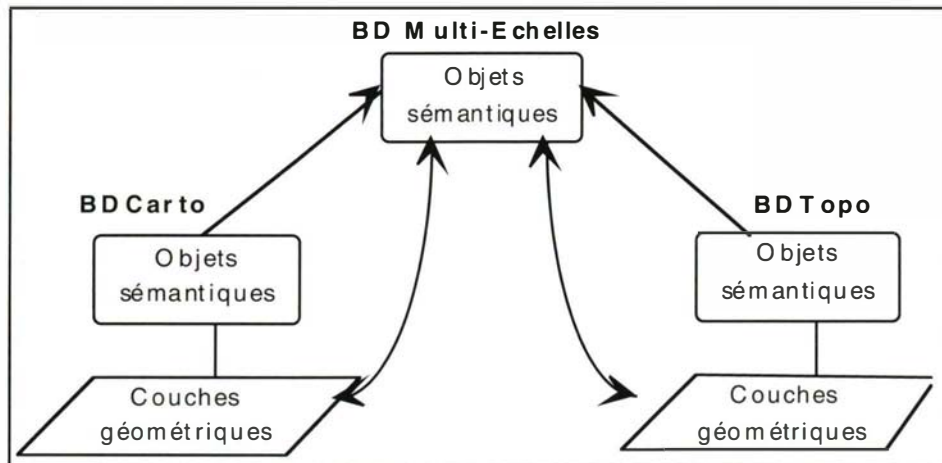
## D.3.2. Précision des données géographiques

par Laurent RAYNAL

Du point de vue externe, les bases de données de l'IGN sont des banques de données qui contiennent des informations différentes. Aussi, pour résoudre ses problèmes, un client peut désirer obtenir certaines informations provenant de la BDTopo et d'autres informations provenant de la BDCarto. Cette potentialité entraîne un nouveau besoin de cohérence entre les données de chaque base, d'autant qu'il est intéressant d'avoir une seule source d'information fiable. Les objectifs de cette action de recherche sont donc d'améliorer la gestion et l'utilisation de l'information géographique en l'intégrant dans une base de données unique, en y gérant sa qualité, sa précision géométrique, ses représentations multiples et ses versions successives.

A plus court terme, il s'agit de formaliser la gestion des imprécisions inhérentes aux différents processus de production des données géographiques, de concevoir un schéma de données unifié pour les données sémantiques et de constituer la base de données correspondante. Cette année 1993 a été essentiellement consacrée à la conception du schéma unifié qui a été effectuée au moyen de la définition d'une base de données indépendante de l'échelle : la Base de Données Multi-échelles (BDMulti) [TRAN 93].

La BDMulti peut être définie comme une base complète de données dont le schéma général doit à la fois regrouper autant de types d'entités possibles qui existent dans les bases d'origine et garder les caractéristiques sémantiques ainsi que la géométrie propre de chaque base. La BDMulti ne possède pas de couche géométrique propre. Ainsi, une entité simple de la BDMulti peut posséder plusieurs représentations géométriques. Dans notre cas, les différentes représentations référencent respectivement une primitive géométrique de la BDCarto et une primitive géométrique de la BDTopo (figure suivante).



Pour sa constitution, un processus d'appariement entre les entités des différentes bases doit être mis en place. Ce processus repose sur l'utilisation de clés de type alphanumérique ou de type géométrique (estimation par la distance de HAUSDORFF). Des tests ont été effectués sur des jeux de données réels (zone de Carpentras). Les résultats quantitatifs d'appariement entre tronçons routiers au moyen de la distance de HAUSDORFF font apparaître un taux d'appariement de 75% environ [STRICHER 93] [RAYNAL 94].

## Publications

[TRAN 93] Tran Thanh-Tu : *Base de Données Multi-échelles : Fusion des schémas BDCTopo-BDCarto dans un SGBD Orienté-Objet*, mémoire d'ingénieur CNAM-Paris (F), janvier 1994.

[STRICHER 93] Nicolas Stricher : *Base de Données Multi-échelles : Association géométrique entre la BDCarto et la BDTopo par mesure de la distance de HAUSDORFF*, rapport de stage, DESS Systèmes et Communications Homme-Machine, Paris XI-Orsay, 1993.

[RAYNAL 94] Laurent Raynal & Nicolas Stricher : *Base de Données Multi-échelles : Association géométrique des tronçons de route de la BDCarto et la BDTopo*, EGIS'94, à paraître.

## D.3.3. Algorithmes de généralisation

par Jean-Georges AFFHOLDER

### D.3.3.1. Contexte - objectifs

Le Bureau d'Etudes Cartographiques (BEC) ayant attiré l'attention sur le fait que la rédaction automatique du 1 : 100 000 et du 1 : 250 000 à partir de la BDCarto de l'IGN (issue essentiellement de la numérisation du 1 : 50 000 existant) risquait de buter sur le problème du linéaire routier, notamment en zone montagneuse, une action de recherche a été entreprise à cette époque (1990). Etant donné la complexité de la question, le but n'est pas d'arriver à une automatisation totale de l'ensemble de la généralisation (à moyen terme, il faudra traiter de façon interactive les conflits entre objets cartographiques), mais de pouvoir simplifier et caricaturer des tronçons de route pris isolément. En ce qui concerne les conflits, on se limite dans ce cadre aux empâtements liés à la symbolisation (auto-conflits). Jusqu'à maintenant, les efforts ont porté en grande partie sur une nouvelle modélisation du linéaire routier, phase précédant la généralisation proprement dite, sur la simplification et sur une boîte à outils pour la généralisation interactive.

### D.3.3.2. Activités - Résultats

En 1993, on a grandement amélioré les algorithmes de lissage par tronçons de cubique, le problème essentiel étant la recherche des deux principales catégories de points caractéristiques : "points d'inflexion" et "sommets" (nb. : la recherche des points caractéristiques est un des problèmes fondamentaux de la généralisation automatique, et est considérée actuellement comme un problème ouvert) [AFFHOLDER 93]. Cette amélioration a été permise grâce à une méthode plus sophistiquée de lissage d'une part, et à un critère de proximité (entre les données initiales et les données lissées) différent de celui que nous avons utilisé jusqu'à présent. Nous avons également commencé à tester un algorithme de caricature (dérivé d'un algorithme de lissage), qui semble prometteur. Enfin, nous avons pu coder un certain nombre d'algorithmes de filtrage et de lissage de la littérature ([BENDAOU 93] [ROUSSIN 93]). Ces algorithmes ont été intégrés aisément sur la plate-forme, ce qui a permis de les tester et de commencer à les évaluer. La mise en place d'outils de mesure pour ces évaluations a également été entamée. Le thème des mesures (pour la caractérisation et pour l'évaluation des effets) et la mise au point d'outils de caricature seront au centre des recherches en 1994.

#### Publications

[AFFHOLDER 93] Jean-Georges Affholder : *Road Modelling for Generalization*, NCGIA Initiative 8 Specialist Meeting on Formalizing Cartographic, Buffalo (USA), octobre 1993.

[BENDAOU 93] Rachid Bendaoud : *Etude et évaluation des algorithmes de simplification du linéaire*, rapport DESS et IGN-DT 1993.

[ROUSSIN 93] Gilles Roussin : *Simplification du linéaire*, rapport DESS et IGN-DT 1993.

### D.3.4. Placement automatique des toponymes

par François LECORDIX

#### D.3.4.1. Contexte - Objectifs

Les bases de données géographique IGN doivent permettre, entre autres utilisations, de rédiger les cartes papier traditionnelles. Mais, comme l'ont montré les essais de rédaction du Bureau d'Etudes Cartographiques, cette étape nécessite, dans l'état actuel des logiciels du marché, deux phases interactives longues et onéreuses : la généralisation et le placement des écritures. Ainsi, pour la carte de Montpellier issue de la BDTopo, 150 heures ont été nécessaires pour réaliser la planche d'écritures. Le but de cette recherche est de réaliser un placement automatique des écritures avec une qualité cartographique pour une grande majorité d'entre elles, afin qu'une part minime, ou même nulle, des écritures de la carte soit à réaliser interactivement. Cette recherche a débuté au COGIT en 1992, lors du stage de DEA de François CHIRIÉ, sur le placement des noms de commune pour une ébauche de carte au 1 : 100 000; elle a été suivie d'un essai sur les noms de villes pour une carte au 1 : 1 000 000 (cf. *Bilan Recherche 1992*), avec un positionnement de qualité cartographique pour 60% des toponymes, valeur devant passer à 80 ou 90% sous réserve de quelques améliorations.

#### D.3.4.2. Activités - Résultats

Les recherches se sont poursuivies suivant deux axes :

- pour les écritures horizontales : mises au propre et améliorations du logiciel [LECORDIX, PLAZANET 93], essais au 1 : 25 000 pour des données de la BDTopo sur un extrait de la carte de Montpellier (avec un pourcentage de satisfaction de 90%, [LECORDIX 93a]) et sur la carte complète du Ventoux (placement automatique en une heure sur une station Alpha avec un taux de reprise voisin de 10% effectué en 12 heures [LECORDIX 93b]). Les premiers contacts pour une industrialisation ont été pris,

- pour les écritures à disposition linéaire : premier essai concernant les numéros de routes au cours d'un stage de DEA ([BARRAULT 93] et cf. infra), mise en place des premiers concepts et réutilisation de certains utilisés pour les écritures horizontales. Les résultats sur un extrait d'une carte au 1 : 1 000 000 sont très encourageants : 90% de bon placement.

Devenant une action de recherche spécifique (AR PNOMS) isolée de la généralisation (AR GCALG initialement), cette action se poursuivra par une thèse sur les noms à disposition (commencée en novembre 1993 par Mathieu BARRAULT, dans le prolongement de son stage de DEA sur les noms de routes), par un stage proposé sur le placement des kilométrages et par le suivi de l'industrialisation du logiciel de placement automatique des écritures horizontales.



## Publications

[BARRAULT 93] Mathieu Barrault : *Placement automatique des toponymes sur le réseau routier au million*, rapport DEA et IGN-DT 1993.

[LECORDIX 93a] François Lecordix : *Placement automatique des écritures sur du 1 : 25 000 à partir des données de la BDTopo*, note IGN-DT 93-0372.

[LECORDIX 93b] François Lecordix : *Point d'avancement sur le placement automatique des écritures avec une qualité cartographique*, note IGN DT 93-1328.

[LECORDIX, PLAZANET 93] François Lecordix & Corinne Plazanet : *Programme de placement automatique de toponymes*, documentation technique, rapport IGN-DT 93-1269.

## D.3.5. Approche à base de connaissances pour la généralisation

par Anne RUAS

### D.3.5.1. Contexte - Objectifs

Un certain nombre de tâches liées à la généralisation relèvent de la prise de décision ou peuvent être considérées comme étant de "haut-niveau" : résolution des conflits, identification et généralisation des structures, séquençement des opérations et gestion du processus. Par ailleurs les techniques issues de l'intelligence artificielle (représentations orientées-objet sophistiquées, mécanismes de raisonnement à base de règles notamment) semblent prometteuses, en particulier pour les tâches évoquées ci-dessus. Un nombre significatif de travaux de recherche ont au demeurant été consacrés à l'utilisation de telles techniques pour la généralisation [RUAS et al 93]. L'objet de cette action de recherche est donc d'examiner dans quelle mesure elles peuvent être utilisées en se limitant à quelques problèmes bien délimités dans un premier temps.

### D.3.5.2. Activités - Résultats

Les recherches se sont poursuivies en se concentrant sur des problèmes de modélisation et d'implémentation orientée-objet de cette modélisation [RUAS, LAGRANGE 93]. Ont été en particulier examinés les problèmes de représentation "multiple" (par exemple données initiales - *de référence* - et données en cours de modification) et de représentations spécifiques de la géométrie dans un schéma général (par exemple primitives géométriques "arcs de cubiques" non nécessairement corrélées à des arcs topologiques). Par ailleurs un certain nombre d'outils "utilitaires" ont été développés pour le chargement de données IGN (BDTopo pour l'instant) et pour la détection des conflits.

Les problèmes de modélisation feront dorénavant l'objet d'une action de recherche à part entière (en intégrant les études sur la modélisation et sur la généralisation du relief), l'AR GCIA se recentrant sur la résolution des conflits et la généralisation des structures dans un premier temps.

## Publications

[RUAS et al 93] Anne Ruas, Jean-Philippe Lagrange & Larry Bender : *Survey on Generalization*, note IGN-DT 93-0538.

[RUAS, LAGRANGE 93] Anne Ruas & Jean-Philippe Lagrange : *Data and Modelling for Generalisation*, ESF GISDATA Workshop on Generalization, Compiègne (F), 1993.

[MÜLLER et al 93] Jean-Claude Müller, Robert Weibel, Jean-Philippe Lagrange & François Salgé : *Generalization : State of the Art and Issues*, Position Paper, ESF GISDATA Workshop on Generalization.

## D.3.6. Etude préalable du projet d'industrialisation de la fabrication de la carte au 1 : 25 000 à partir de la BDTopo

par Thierry MERCIER

*Cette étude, réalisée dans le cadre de l'équipe produit BDTopo, a été lancée le 1er juin 1993. Elle s'est terminée par la rédaction du rapport d'étude préalable courant octobre 1993. Le projet BDTopo25 a été lancé à la suite de cette étude le 1er novembre 1993.*

### D.3.6.1. Raisons de l'étude

L'une des applications principales de la BDTopo est la réalisation de la carte de base au 1 : 25 000 du territoire. La réalisation de cette carte est une des missions de l'établissement et sa commercialisation dans ses versions Série Bleue et TOP25 représente une part importante de nos ressources propres (38 MF en 1992).

L'arrêt progressif de la filière traditionnelle de production de la carte impose que le relais soit pris, pour répondre aux besoins des utilisateurs, par une nouvelle carte issue de la BDTopo.

Le projet BEC (Bureau d'Etudes Cartographiques) a défini les spécifications de la nouvelle carte dans ses versions standard et touristique et en a prouvé la faisabilité en réalisant deux feuilles expérimentales.

Le passage en production nécessite encore un travail important en matière de choix d'organisation, de définition de processus, de sélection de matériels et d'écriture de logiciels. Etant donnée l'importance de la tâche à réaliser et des investissements à engager, l'industrialisation de la fabrication de la nouvelle carte au 1 : 25 000 devra être conduite dans une structure de projet.

### D.3.6.2. Définition des objectifs du projet

Le futur projet aura comme tâche la mise au point d'une chaîne de production capable de fabriquer la nouvelle carte au 1 : 25 000 à partir des jeux de données BDTopo livrés par le Serveur Général. Les principaux aspects à prendre en compte sont les suivants :

- organisation de production (unité spécialisée ou dans le cadre des LPI, assurance qualité),
- personnels (profils de postes, nombre, formation...),
- outils de travail (choix des matériels, développements logiciels...),
- relations et procédures à définir avec les phases en amont et en aval,
- filière de saisie, de conservation et d'entretien des informations touristiques nécessaires à l'établissement des

TOP25,

- montée en charge de la fabrication de la carte en relation avec la montée en charge de la BDTopo et programmation prenant en compte le découpage des feuilles touristiques,
- sélection des éditions réalisables à partir des feuilles terminées en BDTopo lors de la mise en place de la chaîne de rédaction; cette sélection dépend de l'obsolescence des données, des écarts entre les âges des données des différentes composantes de certaines feuilles et de l'existence des informations touristiques pour la TOP25.

#### D.3.6.2.1. Contexte

Les spécifications des séries standard et touristique de la nouvelle carte au 1 : 25 000 sont celles qui ont été définies par le BEC et qui seront validées par le comité de pilotage de ce projet; elles n'ont pas à être mises en cause dans cette étude ni dans le projet qui la suivra.

Les jeux de données BDTopo nécessaires à l'établissement de la carte sont livrés par le Serveur Général après validation. Si les relations entre la ou les unités de rédaction et le serveur général sont du domaine de cette étude, il n'est pas envisagé d'autres filières d'approvisionnement en données BDTopo.

Le système d'édition des cartes issues des Bases de Données de l'IGN a été choisi et est en cours de mise en production par le projet "Remplacement du SÉMIO"; il s'agit du système MERCATOR construit par la société BARCO GRAPHICS. La chaîne de production mise en place devra donc être conçue pour fonctionner avec MERCATOR.

#### D.3.6.2.2. Propositions de mise en œuvre

On peut définir trois grandes étapes dans le processus de réalisation de la carte au 1 : 25 000 :

- fournir les lots de données BDTopo au format FEIV : fonction remplie par le Serveur Général,
- traiter les données BDTopo de manière à permettre leur symbolisation (regroupements, décalages, modifications géométriques...), extraire et positionner les écritures, réaliser l'estompage (sous-traité à l'unité du Service des Cartes Thématiques en charge de la BDAIti). La réalisation de cette étape demande un ordinateur, un SIG et des programmes de traitement. Le système cartographique est l'ensemble des outils (matériels, logiciels et procédure) nécessaires,
  - réaliser le cadre, la couverture, la légende, symboliser les données traitées par le système cartographique et générer les fichiers RASTER par couleurs séparées conduisant à l'insolation des films ou des plaques. Ces fonctions sont remplies par le système d'édition MERCATOR. Certaines de ces tâches seront réalisées par l'unité MERCATOR, d'autres par les unités de rédaction.

Du point de vue technique, pour le choix du système cartographique, il est proposé de comparer la solution ARC-INFO mise en œuvre par le BEC pour la fabrication des prototypes à une solution fonctionnant sur micro-ordinateur PC ou MACINTOSH. Un avenant à la fiche de lancement du projet précise la liste des outils à tester par le projet pour choisir le système cartographique.

## D.4.1. Maintenance du système de référence terrestre de l'IERS

par Zuheir ALTAMIMI, Claude BOUCHER et Laurent DUHEM

### D.4.1.1. Travaux effectués

Les principales actions menées en 1993 sont les suivantes :

- Réalisation du système de référence terrestre de l'IERS (ITRS) pour 1992, ITRF92, comprenant à la fois les coordonnées des stations et leurs vitesses de déplacement. Cette réalisation a été obtenue en combinant vingt jeux de coordonnées de stations : cinq VLBI, trois LLR, six SLR et six GPS et huit champs de vitesses : trois VLBI et cinq SLR.
- Publication des résultats de l'ITRF92 dans le Rapport Annuel et les notes techniques de l'IERS pour 1992.
- Analyse critique des vitesses de stations basée sur des comparaisons des données VLBI/SLR d'une part et des données GPS d'autre part.
- Elaboration de solutions spéciales pour les *Core Stations* de l'IGS : coordonnées des stations à des époques différentes.

### Principales publications

#### Rapports et notes techniques

[BOUCHER et al] C. Boucher, Z. Altamimi & L. Duhem : *The ITRF92 and its associated velocity field*, IERS Technical note 15, Observatoire de Paris, 1993.

#### Présentations à des congrès

[ALTAMIMI et al] Z. Altamimi & C. Boucher : *The IERS Terrestrial Reference System : A review of its realizations*, AGU Fall Meeting, San Francisco (USA), 6-10 December, 1993.

[BOUCHER, ALTAMIMI] C. Boucher & Z. Altamimi : *Contribution of IGS'92 to the Terrestrial Reference Frame*, IGS Workshop, Berne (CH), 24-27 mars, 1993.

[BOUCHER, ALTAMIMI] C. Boucher & Z. Altamimi : *The Realization of the EUREF Terrestrial Reference System*, IAG General Meeting, Beijing (China), 6-13 August, 1993.

[BOUCHER et al] C. Boucher, Z. Altamimi & L. Duhem : *Status report on the IERS Terrestrial Reference Frame*, IERS Workshop, Observatoire de Paris, 11-13 May, 1993.

#### Autres publications

[ALTAMIMI et al] Z. Altamimi, C. Boucher & L. Duhem : *The Worldwide Centimetric Terrestrial Reference Frame and its associated velocity field*, Adv. Space Res., vol. 13, n° 11, pp. (11)151-(11)160, 1993.

[BOUCHER, ALTAMIMI] C. Boucher & Z. Altamimi : *Development of a Conventional Terrestrial Reference Frame, Contribution of Space Geodesy to Geodynamics : Earth Dynamics*, AGU Geodynamics Series, vol. 24, pp. 89-97, D. Smith and D. Turcotte Eds., 1993.

### D.4.1.1.1. Suite à donner

Outre les réalisations annuelles de l'ITRS, des nouvelles perspectives de combinaisons de données VLBI, SLR et GPS vont être entreprises basées sur les deux constats suivants :

- les observations VLBI et SLR sont réparties sur une période d'environ quinze ans, avec une fréquence d'observation aléatoire dépendant de chaque station,
- les observations GPS ont une précision équivalente à celle obtenue par VLBI alors que les observations ont une période courte (deux ans) et très récente.

Cette analyse sera essentiellement basée sur deux points importants :

- évaluation de la qualité des vitesses estimées par VLBI et SLR qui serviront à ramener les coordonnées des stations VLBI et SLR à l'époque des données GPS,
- étude préliminaire de la pondération à appliquer aux différents jeux de coordonnées lors de chaque combinaison en fonction de la qualité de chaque jeu.

## D.4.2. Détermination du géoïde

par Henri DUQUENNE

### D.4.2.1. Résultats obtenus

Les travaux débutés en 1992 sur la géodésie intégrée et le logiciel OPERA se sont poursuivis. Plusieurs outils informatiques ont été développés, en particulier : un logiciel de transformation des données gravimétriques (achevé, opérationnel) et un logiciel d'extraction et de formatage de modèle numérique de terrain. Les tests ont concerné le réseau géodésique de surveillance sismique de la Durance dont on a utilisé 44 points répartis sur 2500 km<sup>2</sup>. 350 observations (angles horizontaux et verticaux, distances, bases GPS et altitudes) ont été traitées par OPERA. On a réalisé les tâches suivantes : acquisition et validation des données géodésiques et de nivellement; acquisition, transformation et échantillonnage des données gravimétriques venant du Bureau Gravimétrique International; extraction du MNT; calculs de coordonnées géodésiques compensées, de hauteur du géoïde et d'altitudes de points, en utilisant différentes options de OPERA et différentes configurations.

De l'analyse des résultats, on peut tirer les conclusions suivantes :

- le choix de certaines options de calcul (modèle de covariance des paramètres du champ de pesanteur, modèle de correction topographique) n'est pas critique,
- l'introduction de MNT apporte un gain de précision considérable. Cette remarque est importante pour les applications au nivellement par GPS,
- la qualité des résultats est directement fonction de celle des données altimétriques : altitude des points d'appui, composantes verticales des bases GPS. En particulier, l'utilisation de bases GPS monofréquence et/ou de points d'appui dont l'altitude dérive de nivellement trigonométrique ancien s'est révélée décevante,
- le logiciel OPERA, associé à des données géodésiques de qualité, à une couverture gravimétrique de densité raisonnable (1 point/15 à 20 km<sup>2</sup>) et à un MNT permet de réaliser des géoïdes locaux et du nivellement par GPS avec une précision de quelques centimètres.

### D.4.2.2. Suite à donner

#### Concernant la géodésie intégrée

Mise en production de OPERA, si elle intéresse le Service de la Géodésie et du Nivellement (SGN).

#### Concernant d'autres études sur le géoïde

Dans le cadre de la réalisation du Réseau Géodésique Français (RGF), il est important de déterminer une surface de référence altimétrique nationale qui permette l'utilisation de techniques spatiales pour le nivellement précis. L'utilisation conjointe des techniques d'intégration d'anomalies de pesanteur et de points GPS nivelés semble la méthode la plus prometteuse. Une étude préalable et une collaboration avec le Bureau Gravimétrique International (BGI) doivent être lancées dans ce sens en 1994.

### Publications

[JIANG 93] Zh. Jiang : *Détermination du géoïde local par géodésie intégrée*, rapport de stage de DEA, IGN, septembre 1993.

[SÉCHAUD 93] N. Séchaud : *Détermination d'un géoïde local par géodésie intégrée*, diplôme d'ingénieur, IGN, décembre 1993.

## D.4.3. Intégration du GPS (Global Positioning System) et des SNI (Systèmes de Navigation Inertiels)

par Pascal WILLIS et Denis BURTIN

### D.4.3.1. Travaux réalisés en 1993

L'année 1993 a été marquée par le développement de la plupart des logiciels et des modélisations nécessaires :

- Modélisation et programmation de l'ensemble des sous-programmes nécessaires au calcul GPS (pseudo-distances, phase).
- Programmation de sous-routines nécessaires à l'estimation : moindre-carré et filtrage de KALMAN.
- Programmation d'une pseudo-équation de navigation pour le Système d'Arpentage Inertiel ULISS-30.

#### Données

De nouvelles données ont été recueillies sur la base-test proche de Gävle (S) par le LMV (Lantmateriet). Ces données n'ont pas encore été exploitées.

#### Nouveau partenaire extérieur potentiel contacté

Direction Générale de l'Armement, Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques.

#### Divers

Fin du séjour de Didier BURTIN au Danemark (DK), (séjour cofinancé par l'IGN et l'Académie des Sciences du Danemark).

### Publication

[BURTIN 93] Didier Burtin : *Integration of the Global Positioning System and Inertial Navigation Systems*, Université de Copenhague (DK), Institut de Géophysique, avril 1993.

## D.4.4. Théorie dynamique du mouvement de la Terre dans le cadre Post-Newtonien

par Denis PRIOU

*Chercheurs associés et collaborations extérieures : Claude BOUCHER, Michael SOFFEL et Markus LEINS (Université de Tübingen) (D), Brandon CARTER, Silvano BONAZZOLA et Gregory COMER (DARC/Observatoire de Meudon), Jean SOUCHAY et Nicole CAPITAINÉ (DANOF/Observatoire de Paris).*

### D.4.4.1. Objectifs

L'objectif de cette action de recherche est de construire une théorie cohérente de la rotation de la Terre incluant les premières corrections relativistes à la théorie Newtonienne de la gravité (formalisme Post-Newtonien), de résoudre numériquement les équations obtenues afin de comparer les prévisions théoriques aux mesures expérimentales sur la rotation de la Terre, et d'étudier des phénomènes tels que la précession-nutation, les fluctuations de la durée du jour, le problème des modes normaux d'oscillation. L'enjeu est double : il s'agit tout d'abord de construire un formalisme d'une précision accrue; l'enjeu véritable est cependant plus profond car cette démarche nécessite de redéfinir rigoureusement dans le cadre relativiste des concepts définis dans le cadre Newtonien, ce qui amène à une redéfinition complète des systèmes de référence.

### D.4.4.2. Activités - résultats

Une bibliothèque numérique a été développée dans le but de résoudre numériquement les équations régissant divers problèmes liés à la rotation de la Terre. Ces équations sont en général des équations aux dérivées partielles, dont la résolution peut être effectuée selon deux approches. La première, appelée méthode aux différences finies, consiste à résoudre le problème non pas dans tout l'espace, mais pour un ensemble discret de points répartis dans celui-ci, et

formant un réseau, et à substituer à l'équation exacte aux dérivées partielles une équation approchée, obtenue en remplaçant les dérivées partielles par des différences finies sur les quantités du problème (schéma de discrétisation).

Dans la situation présente, l'utilisation de cette méthode peut s'avérer hasardeuse, car pour que celle-ci produise des résultats numériques satisfaisants, il faut que le schéma choisi satisfasse un certain nombre de critères (cohérence, stabilité, convergence). La seconde méthode, appelée méthode d'approximation de solution, consiste à chercher une solution approchée de l'équation exacte sous la forme d'un développement en série de fonctions de base. Toutes les fonctions intervenant dans la résolution du problème sont alors considérées comme des vecteurs dans un espace de HILBERT, dont une base bien choisie constitue les fonctions de base. C'est cette seconde option qui a été choisie, car celle-ci offre un outil de résolution numérique d'une très grande précision et d'une grande fiabilité, si l'espace de HILBERT et les vecteurs de base sont bien choisis.

Pour mettre en œuvre cette méthode de résolution, il a été nécessaire de définir un espace fonctionnel, une base Hilbertienne, et un produit scalaire. On a choisi pour base les polynômes de TCHEBYCHEV (complétés des harmoniques sphériques pour les cas multidimensionnels). Ce choix est particulièrement judicieux dans la mesure où toute fonction peut être décrite ou bien par la suite des valeurs prises par celle-ci en certains points de l'espace (description dans l'espace physique) ou bien par ses composantes sur la base Hilbertienne (description dans l'espace des coefficients). Ces deux descriptions étant équivalentes, il est nécessaire de disposer d'un moyen précis et rapide de passage de l'une à l'autre de ces représentations. On peut montrer que si les vecteurs de la base Hilbertienne sont les polynômes de TCHEBYCHEV, ce problème se ramène à une transformée de FOURIER discrète, qui peut être efficacement implémentée à l'aide des Fast FOURIER Transforms (FFT).

Ayant ainsi déterminé l'espace fonctionnel, on peut résoudre les équations aux dérivées partielles à l'aide d'une méthode par approximation de solution, la méthode de GALERKIN. Remplaçant les fonctions du problème par leur développement en série de fonctions de base, les équations posées se ramènent à des systèmes linéaires à inverser, ou à des systèmes différentiels linéaires de dimension infinie (puisque l'espace de HILBERT utilisé est de dimension infinie). La méthode d'approximation consiste à chercher une solution sous la forme d'un développement en série finie, cette solution approchée correspondant à la meilleure approximation de la solution exacte (au sens de la norme Hilbertienne) lorsqu'on explore le sous-espace vectoriel engendré par un nombre fini de vecteurs de la base Hilbertienne.

Les systèmes à résoudre sont alors remplacés par des systèmes de dimension finie : soit des systèmes linéaires à inverser, soit des systèmes différentiels linéaires dont la résolution se ramène à la recherche des valeurs et des vecteurs propres d'une matrice caractéristique.

Ces systèmes ayant une forme d'une forme particulière, il a fallu développer une bibliothèque numérique spécialisée adaptée au problème posé. Cette bibliothèque a été testée dans des cas simples avec succès. Ainsi, la théorie relativiste des corps à symétrie sphérique possédant une croûte solide et un noyau fluide a été intégralement résolue numériquement. Une étude comparative des spectres de modes propres d'oscillation en torsion obtenus en fonction de la modélisation du corps a été effectuée (environ 2000 modes propres ont été calculés). Les modes propres d'oscillation de type sphéroïdal sont en cours d'investigation. Il s'agit d'une étude comparative similaire à ce qui a été fait pour les modes en torsion pure (toujours dans le cadre de la relativité générale). Ce travail est avant tout numérique et informatique, car tout le formalisme du problème a été construit et mis en forme pour la résolution numérique.

#### **D.4.4.3. Prolongements envisagés**

Au-delà de ces cas "simples", il reste à traiter des cas multidimensionnels dépendant du temps. La phase de développement est actuellement en cours.

### **D.4.5. Réalisation d'un logiciel de traitement VLBI astrométrique et géodésique**

*par Denis PRIOU*

*Chercheurs associés et collaborations extérieures : Claude BOUCHER, Pascal WILLIS et Françoise DUQUENNE (IGN), Martine FEISSEL, Denise BOURQUART, Najat ESSAIFI, Patrick CHARLOT et Etienne EISOP (DANOF/Observatoire de Paris) et Jean-François LESTRADE (Observatoire de Meudon).*

#### **D.4.5.1. Objectifs**

L'objectif de ce projet est de réaliser un logiciel d'analyse VLBI géodésique et astrométrique. La motivation principale de ce projet, dénommé GLORIA, est de construire un modèle théorique incluant tous les effets qui ont une influence de 1 mm ou plus sur les observations VLBI, conformément aux objectifs scientifiques des programmes internationaux pour cette fin de siècle. Sur le plan technique, un certain nombre d'innovations garantiront une meilleure exploitation des données VLBI. L'objectif est en effet de réaliser un logiciel capable de traiter d'importants volumes de données (éventuellement toutes les données disponibles) en s'appuyant sur une structure de base de données, et sur un SGBD. Il s'agit de réaliser un outil de traitement souple, interactif et convivial, mais aussi un laboratoire permettant d'expérimenter et de tester des

modélisations et des méthodes de traitement, et enfin un instrument de gestion de toutes les données VLBI disponibles unifiées en un monde cohérent. Ces innovations constitueront un plus par rapport aux logiciels existant déjà actuellement et dont la conception est déjà ancienne. Cet élargissement des compétences permettra d'être partie prenante dans les grands projets VLBI internationaux, soit au sol avec le VLBA et la possible antenne du CNES à Tahiti, soit dans l'espace avec les projets de VLBI spatial.

#### **D.4.5.2. Activités - résultats**

Le montage de la collaboration entre les divers partenaires pressentis (Institut Géographique National, IERS, BIPM et Observatoire de Meudon) a dû être modifié suite au retrait d'un des partenaires pressentis (BIPM). Au mois de juillet dernier, aucune solution de remplacement n'avait été trouvée. Par ailleurs, un autre partenaire (IERS) n'avait pas encore reçu le financement (de matériel informatique et de personnel) indispensable à la poursuite du projet, financement qu'il attendait de diverses instances nationales depuis plusieurs mois.

Dans de telles conditions, il a semblé raisonnable de suspendre provisoirement le développement de cette action et de reprendre celui-ci une fois les problèmes de financement du partenaire IERS résolus.

### **D.4.6. Rattachement géodésique des marégraphes dans un système mondial**

*par Guy WÖPPELMANN, Claude BOUCHER, Christian Le PROVOST et Pascal WILLIS*

#### **D.4.6.1. Travaux effectués**

Le bilan des activités de cette action de recherche pour l'année 1993, se résume par :

- la structuration des données relatives aux marégraphes et à leurs rattachements géodésiques sous forme HBDS dans le domaine SSG de la BDG de l'IGN,
- l'étude de l'intérêt du calcul des données GPS de la campagne GIG'91, encore inexploitées par le JPL, pour le rattachement de certains marégraphes (en attendant l'arrivée imminente de certaines données GPS stockées au JPL, les transformations de format sur les données déjà disponibles à l'IGN ont été effectuées),
- l'étude et la mise en évidence de l'intérêt des étalonnages réguliers des marégraphes, lors de la reprise de ce type d'opérations pour le marégraphe totalisateur de Marseille en juillet,
- le début du travail de combinaison de jeux de coordonnées issus de missions GPS de rattachement de marégraphes par le logiciel SSCMIX, afin d'exprimer les données marégraphiques dans le système de référence terrestre de l'IERS,
- l'analyse de séries temporelles de données marégraphiques en France, qui mettent en évidence, d'une part l'intérêt des rattachements par techniques de géodésie spatiale, et d'autre part l'importance des contrôles de la stabilité du marégraphe pour les études de variations séculaires du niveau des mers,
- la participation au groupe de travail international organisé par W. Carter, pour faire le point dans le domaine des rattachements géodésiques de marégraphes.

#### **Publications et présentations**

[BOUCHER et al] C. Boucher, P. Willis, JP. Dufour & G. Wöppelmann : *A first TOPEX/POSEİDON terrestrial reference frame including SLR/DORIS/GPS tracking and tide gauges*, poster présenté au séminaire : Satellite altimetry and oceanography, Science working team, Toulouse (F), 29-30 novembre 1993, notice technique IGN CC/G n° 591.

[BOUCHER, WÖPPELMANN] C. Boucher & G. Wöppelmann : *Combinaison de la marégraphie et de la géodésie pour l'estimation de la variation à long terme du niveau des mers*, poster présenté au séminaire de travail du Ministère de l'Environnement : Élévation du niveau de la mer, Paris, 6-7 décembre 1993, notice technique IGN CC/G n° 590.

[BOUCHER] C. Boucher : *The contribution of IERS to sea level change studies*, présentation au meeting : Sea level changes : measurements and analysis, London (GB), 9-10 December 1993.

## D.4.7. Amélioration du positionnement DORIS

par Jean-Philippe DUFOUR

### D.4.7.1. Travaux effectués

De nouveaux jeux de coordonnées DORIS/SPOT-2 (11) et DORIS/TOPEX (14) ont été reçus. Ils ont été expertisés par comparaison aux réalisations de l'ITRS, et, pour certains d'entre eux, par comparaisons deux à deux ou par combinaison. Ainsi, trois combinaisons de solutions DORIS ont été réalisées :

- JCOD-5 (avril 1993) : à la demande du CNES/SOD, combinaison d'un sous-jeu de l'ITRF91, d'une solution GPS "Epoch92" et de trois solutions DORIS,
- JCOD-6 : dans le cadre d'une présentation à la Journée "Localisation DORIS" (8 juin 1993), combinaison de cinq jeux DORIS avec l'ITRF91,
- dans le cadre de l'investigation TOPEX sur les systèmes de référence, combinaison de l'ITRF92, de quatre solutions DORIS et de six solutions GPS de points à proximité de marégraphes (voir B.7.).
- meilleure pondération des solutions DORIS pour les comparaisons et des combinaisons (utilisation des covariances...).

D'autre part, deux champs de vitesses ont été obtenus à partir de jeux de coordonnées. Ils ont été comparés entre eux et au champ NUVEL1-NNR.

La mise en exploitation de recherche du logiciel Microcosm a été abandonnée, compte-tenu de l'implantation du programme GIPSY-OASIS.

### Principales publications

#### Rapport technique

[BOUCHER et al] C. Boucher, JP. Dufour & P. Willis : *The JCOD-5 station coordinates solution of the DORIS network*, rapport technique GRGS n° 11, juin 1993.

#### Présentations à des congrès

[DUFOUR et al] JP. Dufour, c. Boucher & p. Willis : *Comparisons between ITRF91 and recent DORIS solutions*, poster présenté au "IERS Workshop", Paris, 11-13 mai 1993, notice technique IGN CC/G n° 582.

[BOUCHER et al] C. Boucher & JP. Dufour : *Étude de la qualité du positionnement DORIS par intercomparaisons et combinaisons globales*, présentation à la Journée "Localisation DORIS", Toulouse (F), 8 juin 93, notice technique IGN CC/G n° 58C,5.

[BOUCHER et al] C. Boucher, P. Willis, JP. Dufour & G. Wöppelmann : *A first TOPEX/POSEĪDON terrestrial reference frame including SLR/DORIS/GPS tracking and tide gauges*, poster présenté au séminaire "Satellite altimetry and oceanography, Science working team", Toulouse (F), 29-30 novembre 1993, notice technique IGN CC/G n° 591.

#### Autres publications

Bulletin d'Information sur les Coordonnées DORIS, n° 6, Saint-Mandé (F), juillet 1993.

### D.4.7.2. Suite à donner

- Rédaction d'un argumentaire technique pour la candidature de DORIS à l'IERS (mars 1994).
- Etudes détaillées des performances du positionnement relatif et de la qualité individuelle de chaque site.
- Vitesses estimées par DORIS : estimation de champs de vitesses DORIS à l'IGN (avec GIPSY-OASIS), comparaisons globales avec NUVEL1-NNR et avec les réalisations de l'ITRS.



## D.4.8. Nivellement par GPS

par Henri DUQUENNE (LAREG), Françoise DUQUENNE (ENSG/CPAG), MT. ANDRIANJAFIRAVELO (Stagiaire, élève ingénieur de l'ENSG), groupe d'instruction de l'ENSG

### D.4.8.1. Objectifs

L'objectif de cette action de recherche est de mettre au point des méthodes de nivellement par GPS basées sur l'interpolation de la hauteur du géoïde entre points d'appui (points GPS nivelés).

### D.4.8.2. Résultats déjà obtenus

La collaboration ENSG-LAREG concernant cette action de recherche a été définie lors d'une réunion organisée par Françoise Duquenne, le 6 avril 1993.

Le groupe d'instruction de l'ENSG a réalisé des observations de GPS (statique rapide) et de nivellement dans la région de Manosque, d'une part sur un chantier de faible étendue (pour le compte de la société GEOSEL), d'autre part sur une région couvrant 560 km<sup>2</sup> environ.

Au cours de son stage, MT. Andrianjafiravelo a établi la bibliographie. Il a étudié trois méthodes d'interpolation du géoïde utilisant uniquement des points GPS nivelés : interpolation par triangulation de Delaunay, interpolation polynomiale, fonctions splines. Il a traité les données du chantier GEOSEL. Les conclusions sont les suivantes :

- l'interpolation par triangulation doit être rejetée, car elle introduit des discontinuités intolérables,
- les fonctions splines sont plus intéressantes pour résoudre les problèmes de raccords entre travaux contigus,
- une détermination des altitudes avec une précision de trois à cinq centimètres a été atteinte, mais la petite taille du chantier GEOSEL ne permet pas de généraliser.

### D.4.8.3. Travaux restant à réaliser

Exploitation des données de la feuille de Manosque, comparaison de l'interpolation du géoïde par fonctions splines et de méthodes plus puissantes (logiciel OPERA).

#### Publication

[ANDRIANJAFIRAVELO 93] MT. Andrianjafiravelo : *Nivellement par GPS*, mémoire de stage et de diplôme d'ingénieur, IGN, 1993.

## D.4.9. Spécifications du réseau scientifique de nivellement

par Henri DUQUENNE (LAREG) et Martial JEANNOT (SGN)

### D.4.9.1. Objectif

L'objectif de cette action de recherche est l'élaboration des spécifications techniques du futur réseau scientifique de nivellement français. Ce réseau serait peu dense (7000 km couvrant l'ensemble du territoire), mais sa précision et son exactitude en feraient un outil scientifique de choix devant permettre une meilleure contribution française au réseau européen (UJELN) et des études scientifiques diverses, en particulier dans le domaine de la géodynamique et de l'océanographie.

### D.4.9.2. Travaux effectués en 1993

#### Spécifications produits

Une première version, rédigée en s'appuyant sur les études bibliographiques précédentes, a été achevée. Elle définit le réseau, sa structure, ses connexions avec d'autres réseaux français et étrangers, ses qualités métriques, sa documentation.

### Spécifications processus, boucle d'essais

La réalisation d'une boucle d'essais a été décidée pour réaliser un certain nombre d'études techniques, pour valider les spécifications, tester périodiquement les équipes de terrain, les instruments et méthodes de calcul qui seront employés pour la réalisation du réseau scientifique. Après une étude préalable menée les années précédentes, l'emplacement de la boucle a été définitivement choisi, dans la région de Saacy-sur-Marne (60 km, Est de Paris).

L'implantation des repères est terminée.

### **D.4.9.3. Travaux à réaliser**

- Validation de la première version des spécifications produit du réseau.
- Spécification processus des premières observations de la boucle d'essais, réalisation de ces observations.
- Rédaction et validation des spécifications processus du réseau.

## **D.4.10. Calculs des campagnes GPS de haute précision pour les buts de métrologie, de géodésie et de géophysique**

par Pascal WILLIS, Serge BOTTON et Loïc DANIEL

*Laboratoire associé : Institut d'Astronomie de l'Université de Berne (Suisse)*

### **D.4.10.1. Travaux effectués**

- Fin des calculs de la campagne Epoch'92 et publication du rapport final.
- Mise en place d'une stratégie de calcul pour le traitement d'une partie des stations Ashtech de la campagne GIG'91, non pris en compte dans la solution du JPL, et en colocation avec des stations marégraphiques. Un calcul global sera fait en 1994 après obtention des données de cinq stations Rogues du JPL. L'intérêt de cette campagne est qu'elle permet de rattacher de nouveaux marégraphes situés dans l'hémisphère sud.

- Calcul de la campagne de rattachement des Iles de Kerguelen, Crozet et Amsterdam à l'ITRF.

Transformation des données Sercel au format RINEX et expertise de deux campagnes Sercel de rattachements de marégraphes réalisées en France en 1986 et 1988 afin d'évaluer leur précision (mémoire de stage de N. GUYON).

Cette étude non complète devra être reprise ultérieurement : début de l'écriture des spécifications du calcul GPS du RRF, qui seront validées en 1994 avant les calculs.

### **Principales Publications**

#### Présentations à des Congrès

[BOTTON] S. Botton : *Epoch'92 : Determination of the Subnetwork collocated with DORIS Antennas*, IGS Workshop 23-27 mars 1994, Université de Berne (CH).

[ROTHACHER et al] M. Rothcher, G. Beutler, W. Gurtner, S. Botton & C. Boucher : *Result of the IGS Data Processing at the "Center for Orbit determination in Europe"* (CODE), IGS Workshop, 23-27 mars 1994, Université de Berne (CH).

[GURTNER et al] W. Gurtner, S. Fankhauser, W. Ehrnsberger, W. Werde, H. Friedhoff, H. Habrich, & S. Botton : *Euref'89 : The final Result, International Association of Geodesy, General Meeting, Pékin (Chine), 8-13 août 1993.*

[BOTTON] S. Botton : CODE : *"Center for Orbit Determination in Europe"*, Journée GPS CNES-INSU-IGN, 31 mars 1993

#### Note Technique

[BOTTON] S. Botton : *Calcul du sous-réseau de la campagne Epoch'92 en colocation avec des sites DORIS*, IGN NT/G 67, arch. 27717.

#### Rapport de Stage

[GUYON] N. Guyon : *Retraitement d'anciennes campagnes GPS pour le rattachement des marégraphes dans un système de référence mondial*, mémoire de DEA de l'Observatoire de Paris (F).

#### **D.4.10.2. Suite à donner**

- Validation des spécifications de calculs du réseau RRF, et calculs des différentes campagnes réalisées.
- Calcul de la campagne GIG'91.

La liste ci-après contient les références des publications issues du programme de recherche 1993. Elle reprend les références données dans les différents articles du bulletin. On peut se procurer la plupart de ces articles auprès du Service de la Recherche.

**Institut Géographique National  
Service de la Recherche  
BP 68  
2 avenue Pasteur  
F-94160 SAINT-MANDE**

## Publications

- [AIRAULT, JAMET 93] S. Airault & O. Jamet : *Automatisation de la saisie des routes sur images aériennes*, Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n° 31, pp. 12-23, décembre 1993.
- [ALTAMIMI et al 93] Z. Altamimi, C. Boucher. & L. Duhem : *The Worldwide Centimetric Terrestrial Reference Frame and its associated velocity field*, Adv. Space Res. vol. 13, n° 11, pp. (11)151-(11)160, 1993.
- [BERTIGER et al 93] W. Bertiger, YE. Bar-Sever, EJ. Christensen, ES. Davis, JR. Guinn, BJ. Haines, RW. Ibanez-Meier, JR. Jee, SM. Lichten, WG. Melbourne, RJ. Muellerschoen, TN. Munson, Y. Vigue, SC. Wu, TP. Yunck, BE. Schutz, PAM. Abusali, HJ. Rim, NM. Watkins & P. Willis : *GPS Precise Tracking of Topex/Poseidon : Results and Implications*, Journ. Of Geophys. Res., TOPEX/POSEIDON, Special Issue, novembre 1993.
- [BOUCHER, ALTAMIMI 93] C. Boucher & Z. Altamimi : *Development of a Conventional Terrestrial Reference Frame, Contribution of Space Geodesy to Geodynamics : Earth Dynamics*, AGU Geodynamics Series, vol. 24, pp. 89-97, D. Smith & D. Turcotte, Eds., 1993.
- [DAVID 93c] Benoît David, Laurent Raynal, Guylaine Schorter & Véronique Mansart : *GéO<sub>2</sub> : Modélisation objet de données géographiques*, Revue de Géomatique, n° 3, 1993.
- [DUQUESNOY et al 93] T. Duquesnoy, E. Barrier, M. Kasser, MA. Aurelio, R. Gaulon, RS. Punongbayan & C. Rangin and the French-Philippines Cooperation Team : *Detection of creep along the Philippine Fault : First result of geodetic measurements in Leyte island (Central Philippines)*, accepté par Geophysical Research Letters.
- [IGN 93] *Bilan de la Recherche 1992* : rapport d'activité, IGN, Service de la Recherche, Bulletin d'Information de l'IGN, n° 61, 1993.
- [WILLIS, BERTIGER 93] P. Willis & W. Bertiger : *Recent DORIS data processing results using the GIPSY-OASIS II software*, JPL Interoffice Memorandum, 335.8-93-005, April 1993.
- [YUNCK et al 93] T. Yunck, W. Bertiger, SC. Wu, Y. Bar-Sever, EJ. Christiansen, B. Haines, SM. Lichten, RJ. Muellerschoen, Y. Vigue & P. Willis : *First Assessment of GPS-Based reduced dynamic orbit determination on Topex/Poseidon*, Geophys. Res. Lett., 1993.

## Congrès et ateliers

- [AFFHOLDER 93] JG. Affholder : *Road Modelling for Generalization NCGIA Initiative 8 Specialist Meeting on Formalizing Cartographic*, Buffalo (USA), octobre 1993.
- [AIRAULT, JAMET 94] S. Airault & O. Jamet : *Détection et restitution automatiques du réseau routier sur images aériennes*, Actes du congrès RFIA, vol. 1, pp. 519-531, Paris (F), janvier 1994.
- [ALTAMIMI et al 93] Z. Altamimi & C. Boucher : *The IERS Terrestrial Reference System : A review of its realizations*, AGU Fall Meeting, San Francisco (USA), 6-10 December, 1993.
- [BERTIGER et al 93] W. Bertiger, SC. Wu, T. Yunck, R. Muellerschoen, P. Willis, Y. Bar-Sever, A. Davis, B. Haines, T. Munson, S. Lichten & R. Sunseri : *Rarly results from the Topex/Poseidon GPS precise orbit determination demonstration*, AAS/AIAA Spaceflight Mechanics Meeting, Pasadena (USA), février 1993.
- [BOTTON 93] S. Botton : *CODE : "Center for Orbit Determination in Europe"*, Journée GPS CNES/INSU/IGN, 31 mars 1993.
- [BOTTON 94] S. Botton : *Epoch'92 : Determination of the Subnetwork collocated with DORIS Antennas*, IGS Workshop, 23-27 mars 1994, Université de Berne (CH).
- [BOUCHER 93] C. Boucher : *The contribution of IERS to sea level change studies*, présentation au meeting "Sea level changes : measurements and analysis", London (GB), 9-10 december 1993.
- [BOUCHER, ALTAMIMI 93a] C. Boucher & Z. Altamimi : *Contribution of IGS'92 to the Terrestrial Reference Frame*, IGS Workshop, Berne (CH), 24-27 mars, 1993.

- [BOUCHER, ALTAMIMI 93b] C. Boucher C. & Z. Altamimi : *The Realization of the EUREF Terrestrial Reference System*, IAG General Meeting, Beijing (China), 6-13 August, 1993.
- [BOUCHER, DUFOUR 93] C. Boucher & JP. Dufour : *Etude de la qualité du positionnement DORIS par intercomparaisons et combinaisons globales*, Journée Localisation DORIS du CNES, Toulouse (F), IGN CC/G n° 585, juin 1993.
- [BOUCHER, WÖPPELMANN 93] C. Boucher & G. Wöppelmann : *Combinaison de la marégraphie et de la géodésie pour l'estimation de la variation à long terme du niveau des mers*, poster présenté au séminaire de travail du Ministère de l'Environnement : "Élévation du niveau de la mer", Paris, 6-7 décembre 1993, notice technique IGN CC/G n° 590.
- [BOUCHER et al 93a] C. Boucher, Z. Altamimi & L. Duhem : *Status report on the IERS Terrestrial Reference Frame*, IERS Workshop, Observatoire de Paris, 11-13 mai, 1993.
- [BOUCHER et al 93b] C. Boucher, P. Willis, JP. Dufour & G. Wöppelmann : *A first TOPEX/POSEIDON terrestrial reference frame including SLR/DORIS/GPS tracking and tide gauges*, poster présenté au séminaire "Satellite altimetry and oceanography, Science working team", Toulouse (F), 29-30 novembre 1993, notice technique IGN CC/G n° 591.
- [DANG 94a] T. Dang, O. Jamet & H. Maître : *Reconnaissance des Bâtiments par Groupement de Primitives Contraint par un Modèle de Disparités*, Actes 9ème Congrès RFIA, Paris (F), pp. 497-506, janvier 1994.
- [DANG 94b] T. Dang, O. Jamet & H. Maître : *An Image Segmentation Technique based on Edge-Preserving smoothing filter and Anisotropic Diffusion*, in Proc. IEEE Southwest Symposium Image Analysis and Interpretation, Dallas, Texas (USA), pp. 65-69, avril 1992.
- [DAVID 93a] B. David, L. Raynal, G. Schorter & V. Mansart : *GéO<sub>2</sub>: Why objects in a geographical DBMS?*, SSD'93, Singapour (Malaisie), 1993.
- [DAVID 93b] B. David, L. Raynal, G. Schorter & V. Mansart : *GéO<sub>2</sub>: Object-Oriented Contribution for a geographical DBMS?*, DEXA'93, Prague (CS), 1993.
- [DESEILLIGNY 93] M. Pierrot Deseilligny, H. Le Men & G. Stamon : *Map Understanding for GIS Data Capture Algorithms, for Road Network Graph Reconstruction*, Int. Conf. Document Analysis and Recognition, Tsukuba (Japon), octobre 1993.
- [DESILLIGNY 94] M. Pierrot Deseilligny, H. Le Men & G. Stamon : *Extraction et Identification de Chaînes de Caractères dans le Contexte Cartographique*, 9ème Congrès RFIA, Paris (F), 11-14 janvier 1994, AFCET, pp. 545-556.
- [DUFOUR et al 93] JP. Dufour, C. Boucher & P. Willis : *Comparisons between ITRF91 and recent DORIS solutions*, poster présenté au "IERS Workshop", Paris, 11-13 mai 1993, notice technique IGN CC/G n° 582.
- [GIGORD 93] P. Gigord : *Utilisation Cartographique des Images ERS*, Colloque SPOT/ERS : De l'Optique au Radar, 10-13 mai 1993.
- [GRUNSPAN et al 94] W. Grunspan, F. Pierron, JF. Mangin, M. Kasser & L. Gosset : *Développement d'une station de télémétrie laser sur satellites de haute mobilité*, MPST, Commission de l'ISPRS, Val d'Isère (F), janvier 1994.
- [GURTNER et al 93] W. Gurtner, S. Fankhauser, W. Ehrnsberger, W. Werde, H. Friedhoff, H. Habrich, & S. Botton : *EUREF'89 : The final Result*, International Association of Geodesy, General Meeting, Pékin (Chine), 8-13 août 1993.
- [LE MEN, JAMET 93] H. Le Men & O. Jamet : *Qualité de processus d'interprétation et qualité des résultats : exemple en cartographie d'occupation du sol*, Colloque ACI, Tunis (TU), décembre 1993, actes à paraître.
- [MÜLLER et al 93] Jean-Claude Müller, Robert Weibel, Jean-Philippe Lagrange & François Salgé : *Generalization : State of the Art and Issues*, Position Paper, ESF GISDATA Workshop on Generalization.
- [RAYNAL, STRICHER 94] L. Raynal & N. Stricher : *Base de Données Multi-échelles : association géométrique des tronçons de route de la BDCarto et la BDTopo*, EGIS'94.
- [ROTHACHER et al 94] M. Rothcher, G. Beutler, W. Gurtner, S. Botton & C. Boucher : *Result of the IGS Data Processing at the "Center for Orbit determination in Europe"* (CODE), IGS Workshop, Université de Berne (CH), 23-27 mars 1994.
- [RUAS, LAGRANGE 93] A. Ruas & JPh. Lagrange : *Data & Modelling for Generalisation*, ESF GISDATA Workshop on Generalization, Compiègne (F), 1993.
- [THIÉBAULT et al 94] E. Thiébaud, L. Devaney, R. Foy, B. Debatz, A. Blazit, D. Bonneau, J. Bouvier & Ch. Thom : *The Extended Ha Component of T Tau*, Symposium UAI 158 : "Very High Angular Resolution Imaging", Editors : G. Robertson & W.J. Tango, 1994.
- [THOM, JURVILLIER 94] Ch. Thom & I. Jurvillier : *Experiences with a digital aerial camera at Institut Géographique National*, Photogrammetric Week, Stuttgart (D), septembre 1993.
- [WILLIS et al 93a] P. Willis, C. Boucher & JP. Dufour : *Intercomparaisons GPS et DORIS*, dans le cadre de la mission océanographique TOPEX/POSEIDON, résultats préliminaires, Journée de la Recherche de l'IGN, IGN CC/G n° 586, mars 1993.
- [WILLIS et al 93b] P. Willis, W. Bertiger, B. Haines, R. Muellerschoen, T. Yunck, C. Boucher, JP. Dufour & H. Fagard : *Processing DORIS data with the GIPSY/OASIS II software for Precise Point Positioning and Orbit Determination : First results and Intercomparaisons*, XXth IAG General Meeting, Beijing (China), août 1993.
- [WILLIS, BERTIGER 94] P. Willis & W. Bertiger : *Processing DORIS data with the GIPSY/OASIS II software, recent results for point positioning and orbit determination*, Institute of Navigation, National Technical Meeting, Navigating the Earth and Beyond, San Diego (USA), janvier 1994.

## Rapports internes, notes techniques, rapport d'études

- [BEAUVILLAIN 93a] E. Beauvillain : *Evaluation de la précision des Modèles Numériques de Terrain obtenus par corrélation automatique dans différentes configurations stéréoscopiques de l'instrument HRG*, rapport final étude CNES, IGN, Service de la Recherche, laboratoire MATIS, février 1993.

- [BEAUVILLAIN 93b] E. Beauvillain : *Présentation des Recherches sur la Qualité des MNT*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne, laboratoire MATIS, mai 1993.
- [BEAUVILLAIN 94] E. Beauvillain & M. Tonon : *Aerotriangulation Using Digitized Images*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne, laboratoire MATIS, IGN-DT-SR, février 1994.
- [BOCK 93] O. Bock : *Caractérisation de l'oscilloscope numérique LECROY 7200*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne LOEMI, décembre 1993.
- [BOCK 94] O. Bock : *Etude statistique des mesures de distance relative de deux réflecteurs*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne LOEMI, janvier 1994.
- [BOTTON] S. Botton : *Calcul du sous réseau de la campagne Epoch'92 en colocation avec des sites DORIS*, IGN, Service de la Recherche, IGN NT/G 67, arch. 27717.
- [BOUCHER et al 93] C. Boucher, Z. Altamimi & L. Duhem : *The ITRF92 and its associated velocity field*, IERS Technical note 15, Observatoire de Paris 1993.
- [BOUCHER et al 93] C. Boucher, JP. Dufour & P. Willis : *The JCOD5 station coordinates solution of the DORIS network*, rapport technique GRGS n° 11, juin 1993
- [GUÉRIN 93] P. Guérin & H. Maître : *Recalage de Données Vecteur sur une Image Aérienne en Vue d'une Extraction Automatique du Réseau Routier*, rapport d'étude, ENST, Département IMAGE, novembre 1993.
- [JAYER 93] R. Jayer : *Segmentation des Images Aériennes et Interprétation de la Végétation*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne laboratoire MATIS, février 1993.
- [JULIEN 93] P. Julien : *Traitements Altimétriques (Modèles Numériques de Terrain)*, cours du DEA Sciences de l'Information Géographique, IGN, Service de la Recherche, laboratoire MATIS, 1993.
- [LECORDIX 93a] F. Lecordix : *Placement automatique des écritures sur du 1 : 25 000 à partir des données de la BDTopo*, IGN, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, note IGN-DT 93-0372.
- [LECORDIX 93b] F. Lecordix : *Point d'avancement sur le placement automatique des écritures avec une qualité cartographique*, IGN, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, note IGN DT 93-1328.
- [LECORDIX, PLAZANET 93] François Lecordix & Corinne Plazanet : *Programme de placement automatique de toponymes*, IGN, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, documentation technique, rapport IGN-DT 93-1269.
- [RAYNAL 93b] L. Raynal : *GéO<sub>2</sub> au travers de OOA*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne COGIT, 1993.
- [RUAS et al 93] Anne RUAS, Jean-Philippe Lagrange & Larry Bender : *Survey on Generalization*, IGN, Service de la Recherche, laboratoire COGIT, note IGN-DT 93-0538.
- [SCHORTER 94] G. Schorter : *Manuel GéO<sub>2</sub> version 5*, IGN, Service de la Recherche, rapport interne COGIT, janvier 1994.

## Rapport de stage (3ème cycle, Ingénieur, formation continue)

- [ANDRIANJAFIRAVELO 93] MT. Andrianjafiravelo : *Nivellement par GPS*, mémoire de stage et de diplôme d'ingénieur, IGN, 1993.
- [BARRAULT 93] M. Barrault : *Placement automatique des toponymes sur le réseau routier au million*, IGN, Service de la recherche, laboratoire COGIT, rapport DEA et IGN-DT 1993.
- [BENDAOUUD 93] R. Bendaoud : *Etude et évaluation des algorithmes de simplification du linéaire*, rapport DESS et IGN-DT 1993.
- [CHARDINY 93] G. Chardiny : *Lissage des axes de routes issus du suivi automatique*, rapport de stage, DEA Sciences de l'Information Géographique, IGN, ENSG, juin 1993.
- [GRELOT & CUZON 93] A. Cuzon & Ch. Grelot : *Portage d'un système d'informations géographiques en O<sub>2</sub>C sur un gérant d'objets compatibles C++*, rapport de stage, DESS Systèmes et Communications Homme-Machine, Paris XI-Orsay, 1993.
- [GUYON] N. Guyon : *Retraitement d'anciennes campagnes GPS pour le rattachement des marégraphes dans un système de référence mondial*, mémoire de DEA de l'Observatoire de Paris (F).
- [HANGOUËT 93] JF. Hangouët : *Suivi automatique de routes sur images aériennes : recentrage du tracé sur l'axe médian*, rapport de stage, DEA Sciences de l'Information Géographique, IGN, ENSG, septembre 1993.
- [JIANG 93] Zh. Jiang : *Détermination du géoïde local par géodésie intégrée*, rapport de stage de DEA, IGN, septembre 1993.
- [LE ROUX 93] D. Le Roux : *Modélisation des Ecoulements sur un Modèle Numérique de Terrain*, IGN, Service de la Recherche, rapport de stage, juillet 1993.
- [NEBBIOSO 93] K. Nebbioso : *Vectorisation des Zones de Végétation à partir de Planches-Mères de Cartes IGN*, rapport de DEA de l'Université de Paris 12, septembre 1993.
- [NGUYEN 94] Th-T. Nguyen : *Intégration et extension d'un modèle de superposition dans un SGBD Orienté Objet*, mémoire ingénieur CNAM, janvier 1994
- [ONDEDIEU 93] J-Fr. Ondedieu : *Délimitation du Sursol Isolé sur un Terrain Modélisé par Corrélation Automatique*, rapport de stage du DEA Sciences de l'Information Géographique, IGN, Service de la Recherche, juin 1993.
- [PHILIPPE 93] S. Philippe : *Etude de validation de MNT par Interférométrie Radar*, IGN, ENSG, stage de DEA, Méthodes Physiques en Télédéttection au CNES, 1993.
- [RAYNAL 93a] L. Raynal : *Analyse Orienté-Objet à l'IGN*, IGN, rapport UFSI Analyste 1993.
- [ROUSSIN 93] G. Roussin : *Simplification du linéaire*, rapport DESS et IGN-DT 1993.
- [SÉCHAUD 93] N. Séchaud : *Détermination d'un géoïde local par géodésie intégrée*. diplôme d'ingénieur, IGN, décembre 1993.

[STRICHER 93] N. Stricher : *Base de Données Multi-échelles : Association géométrique entre la BDCarto et la BDTopo par mesure de la distance de HAUSDORFF*, rapport de stage, DESS Systèmes et Communications Homme-Machine, Paris XI-Orsay, 1993.

[TRAN 93] Tran Thanh-Tu : *Base de Données Multi-échelles : Fusion des schémas BDCarto - BDTopo dans un SGBD Orienté-Objet*, mémoire d'Ingénieur CNAM-Paris (F), janvier 1994.

# Glossaire

---

<b>ACI</b>	Association Cartographique Internationale
<b>AFCET</b>	Association française des sciences et technologies de l'information et des systèmes
<b>AGU</b>	American Geophysical Union
<b>ASPRS</b>	American Society of Photogrammetry and Remote Sensing
<b>BEC</b>	Bureau d'Etudes Cartographiques de l'IGN
<b>BGI</b>	Bureau Gravimétrique International
<b>CCD</b>	Charge Coupled Device
<b>CEA</b>	Commissariat à l'Energie Atomique (F)
<b>CESR</b>	Centre d'Etudes Spatiales des Rayonnements (F)
<b>CNAM</b>	Conservatoire National des Arts et Métiers (F)
<b>CNES</b>	Centre National d'Etudes Spatiales (F)
<b>CODE</b>	Center for Orbit Determination in Europe
<b>CPU</b>	Central Processing United
<b>CST</b>	Comité Scientifique et Technique, IGN
<b>DAUPHIN</b>	Détermination Automatique des Points Homologues sur des Images Numériques
<b>DEA</b>	Diplôme d'Etudes Approfondies
<b>DESS</b>	Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées
<b>DORIS</b>	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
<b>EMQ</b>	Erreur Moyenne Quadratique
<b>ENSG</b>	Ecole Nationale des Sciences Géographiques, IGN (F)
<b>ENST</b>	Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (F)
<b>ERS</b>	European Space Agency RS
<b>ESF</b>	European Science Foundation
<b>ESO</b>	European Southern Observatory
<b>FEIV</b>	Format d'Echange Interne Vecteur de l'IGN
<b>FFT</b>	Fast FOURIER Transform
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GRGS</b>	Groupe de Recherche en Géodésie Spatiale (F)
<b>IERS</b>	International Earth Rotation Service
<b>IGS</b>	International GPS Geodynamic Service
<b>ISPRS</b>	International Society of Photogrammetry and Remote Sensing
<b>ISTAR</b>	Imagerie STéréo Appliquée au Relief (F)
<b>ITRF</b>	IERS Terrestrial Reference Frame
<b>ITRS</b>	IERS Terrestrial Reference System
<b>JOG</b>	Joint Operation Graphic
<b>JPL</b>	Jet Propulsion Laboratory
<b>LLR</b>	Lunar Laser Ranging
<b>LPI</b>	Ligne de Production Intégrée, IGN
<b>MCS</b>	Matra Cap Système (F)
<b>MNT</b>	Modèle Numérique de Terrain
<b>OCA</b>	Observatoire de la Côte d'Azur (F)
<b>OEEPE</b>	Organisation Européenne d'Etudes Photogrammétriques Expérimentales



<b>PSIG</b>	Programme National sur les Systèmes d'Information Géographique
<b>RADAR</b>	RAdio Detecting And Ranging
<b>RFIA</b>	Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (F)
<b>RGF</b>	Réseau Géodésique Français
<b>RVB</b>	(codage des couleurs en) Rouge Vert Bleu
<b>SFPT</b>	Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (F)
<b>SGBD</b>	Système de Gestion de Base de Données
<b>SGM</b>	Service Géographique Militaire (F)
<b>SGN</b>	Service de Géodésie et de Nivellement de l'IGN (F)
<b>SIG</b>	Système d'Information Géographique
<b>SLR</b>	Satellite Laser Ranging
<b>SPCN</b>	Service de Photogrammétrie et de Cartographie Numérique, IGN
<b>SPOT</b>	Satellite Pour l'Observation de la Terre
<b>SYMPATI</b>	SYstème MultiProcesseur Adapté au Traitement d'Image
<b>TRAPU</b>	TRaitement Automatique de Perspectives Urbaines
<b>VLBA</b>	Very Long Baseline Array
<b>VLBI</b>	Very Long Base Interferometry

## **Contacts :**

**Service de la Recherche**  
Serge MOTET - poste 8315

**Méthodes d'Analyse et de Traitement d'Image pour la Stéréorestitution (MATIS)**  
Olivier JAMET - poste 8069

**Conception Objet et Généralisation de l'Information Topographique (COGIT)**  
Jean-Philippe LAGRANGE - poste 7583

**Laboratoire d'Opto-Electronique et de Micro-Informatique (LOEMI)**  
Christian THOM - poste 8240

**Laboratoire de REcherche en Géodésie (LAREG)**  
Pascal WILLIS - poste 8329

**Directeur de la Publication** : Claude BOUCHER

**Rédaction** : Jacques SCHWENGLER, Isabelle MELOT

Édité par le Service de la Recherche  
avec le concours  
du Département Communication  
du Service de Géodésie et Nivellement.  
et d'IGN-Espace  
Imprimé à l'Institut Géographique National  
© Bulletin d'Information de l'IGN

136 bis, rue de Grenelle - F 75700 PARIS 07 SP  
téléphone (1) 43 98 80 00

Imprimerie de l'Institut Géographique National

Dépôt légal 3<sup>ème</sup> trimestre 1994  
n° d'édition : 169 - n° d'impression : 190



